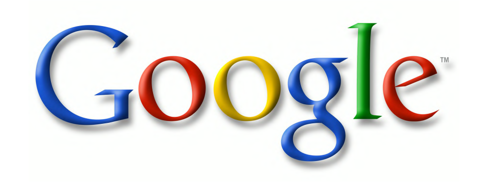
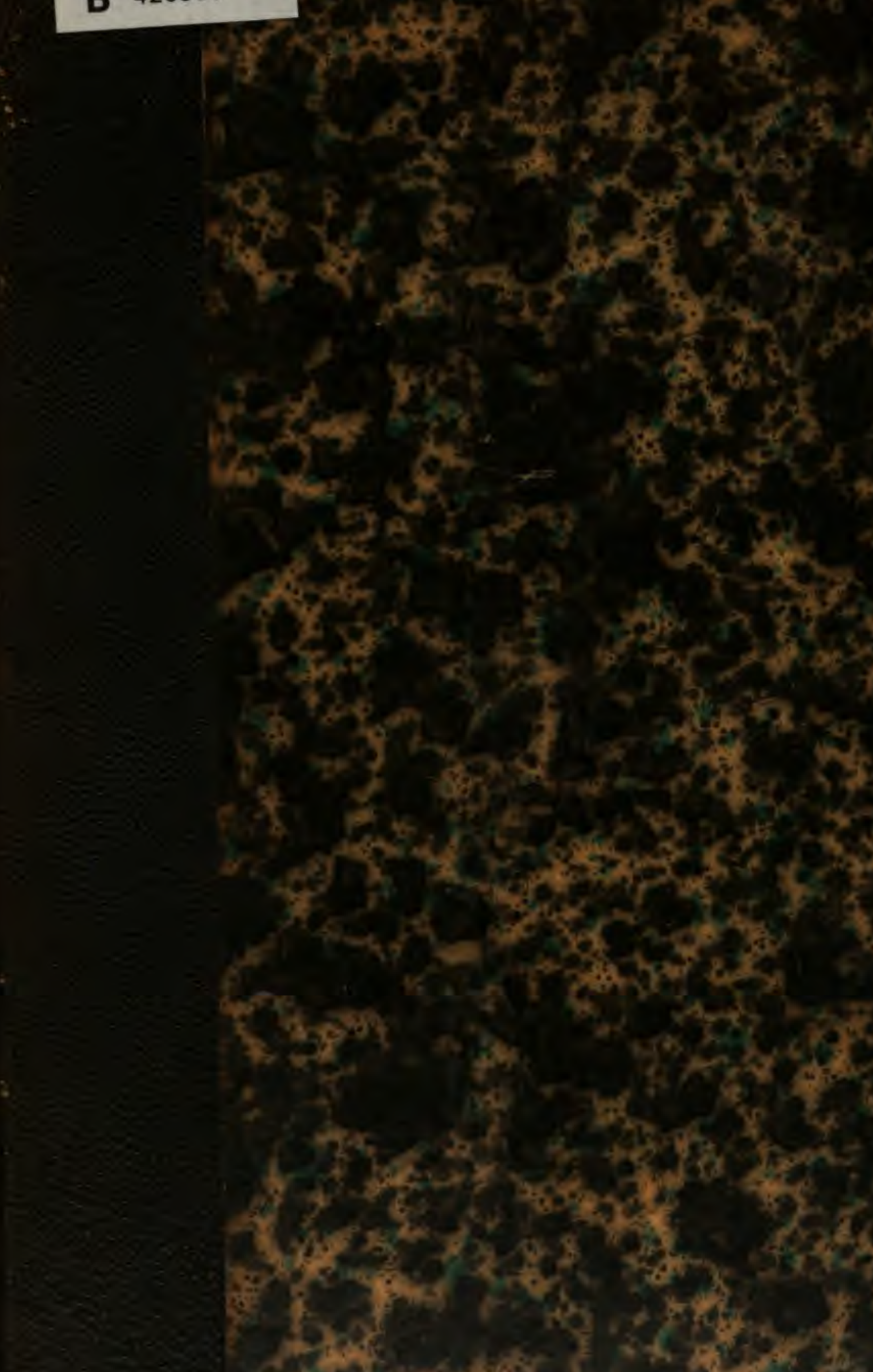
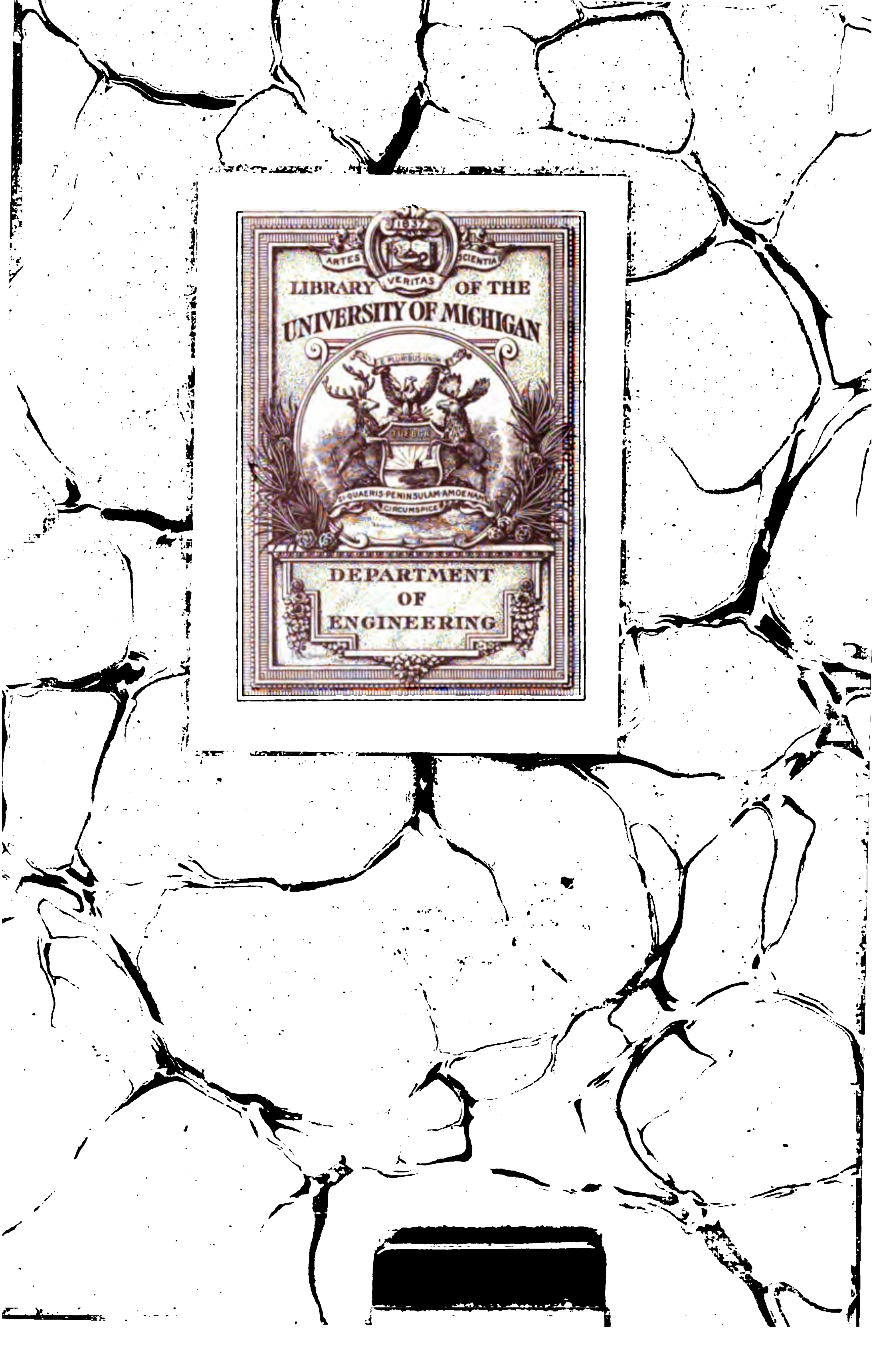





1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1901

DEUXIÈME VOLUME

PARIS

HOTEL DE LA SOCIÉTÉ

19, RUE BLANCHE, 19

—

1901

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

ANNÉE 1901

Éclairage.

DUCASTEL (P.). — *Triomphe du gaz d'éclairage sur l'électricité (incandescence et arc) par la lumière Boule. Brevets de la Société Lumière Boule. Historique et Exposé général*, par Paul Ducastel (in-4°, 270×220 de 7 p.). Paris, Siège administratif de la Société Lumière Boule, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 40977

Économie politique et sociale.

Statistique des grèves et des recours à la conciliation et à l'arbitrage survenus pendant l'année 1900 (République Française, Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, Direction du Travail) (in-8°, 240×150 de XVI-619 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41034

Électricité.

BARBILLION (L.). — *Production et emploi des courants alternatifs*, par L. Barbillion (Scientia, Mai 1901. Phys. Mathématique n° 11) (in-8°, 200×130 de 103 p.). Paris, C. Naud, 1901 (Don de l'éditeur). 41014

PIERARD (E.). — *La télégraphie sans fil à travers les âges*. Conférence faite à la Société Belge d'électriciens, par Émile Pierard (in-8°, 240×160 de 31 p. avec 24 fig.). Paris, Dunod ; Bruxelles, Ramlot, 1901 (Don de l'éditeur). 41032

Filature et Tissage.

BLAISE (E.). — *Le travail à la main et le travail à la machine comparés au double point de vue de la main-d'œuvre employée et du produit obtenu*, par M. E. Blaise (Extrait des Comptes rendus de l'Association française pour l'Avancement des Sciences. Congrès de Paris, 1900) (in-8°, 235×150, pages 1031 à 1036). Paris, Hôtel des Sociétés savantes (Don de l'auteur, M. de la S.). 41056

Géologie et Sciences naturelles diverses.

Bulletin de la Société géologique de France. 2e série. Tome XXIX. Années 1871 à 1872 (in-8°, 225×140 de 764 p. avec 11 pl.). Paris, au lieu des séances de la Société, 1872. 41160

Bulletin de la Société géologique de France. Table générale et analytique des vol. XXI à XXIX de la 2e série, 1864 à 1872, par MM. E. Danglure et A. Bioche (in-8°, 225×140 de 154 p.). Paris, au siège de la Société, 1879. 41161

Bulletin de la Société géologique de France. 3e série. Tomes I à XXVIII. Années 1872-1873 à 1900 (28 vol. in-8°, 250×165). Paris, au siège de la Société. 41062 à 41087 et 41129 et 41130

LAPPARENT (A. DE). — *Traité de géologie*, par A. de Lapparent. *Fascicule I. Phénomènes actuels. Fascicules II et III. Géologie proprement dite* (3 vol. in-8°, 250×165 de 1912 p. avec 850 fig.). Paris, Masson et Cie, 1900, 4e édition. 40989 à 40991

Législation.

Législation ouvrière et sociale en Australie et Nouvelle-Zélande. Mission de M. Albert Métin (République Française, Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Office du Travail) (in-8°, 235×155 de VII-200 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41035

MALLARD (L.). — *Traité complet de l'expertise judiciaire. Guide pratique et théorique à l'usage des experts, arbitres, magistrats, officiers ministériels et conseils en matière civile, commerciale, administrative et criminelle, avec formules*, par Louis Mallard (in-8°, 250×165 de XII-502 p.). Paris, Marchal et Billard, 1901 (Don de l'auteur). 41018

PICARD (A.). — *Traité des Eaux. Droit et Administration*, par Alfred Picard. *Tome V. Rivages de la mer. Ports maritimes de commerce. Éclairage et balisage des côtes* (in-8°, 245×160 de 524 p.). Paris, J. Rothschild, 1895. 40992

Médecine. — Hygiène. — Sauvetage.

Création à Paris d'un Institut de médecine coloniale (Publications de l'Union coloniale française) (in-8°, 250×165 de 60 p.). Paris, au siège de l'Union coloniale française, 1901. 40974

Métallurgie et Mines.

Anuario de la Mineria, Metalurgia y Electricidad de España, con una sección de Industrias químicas, publicado por la Revista Minera, Metalurgica y de Ingenieria bajo la Dirección de Don Adriano Contreras. *Ano VIII, 1901* (in-8°, 230×150 de 592-XLII p.). Madrid, Enrique Teodoro, 1901. 41019

BROUGH (B.-H.). — *Royal Commission, Paris Exhibition, 1900. Report on the Exhibits in class 65; Metal Working*, by Bennett H. Brough (Reprinted from the General Report of the Royal Commission) (in-8°. 215 × 140 de 7 p.). London, William Clowes and Sons, 1901 (Don de l'auteur). 41131

CAMBESSÉDÈS (F.) — *Cours théorique et pratique d'Exploitation des Mines*, par F. Cambessédès. 7e *fascicule. Méthodes d'exploitation des veines minces, moyennes et puissantes* (in-4°, 265 × 210, de 228-XXXVI p. avec atlas même format de 335 fig.). — *8e fascicule. Aérage* (in-4°, 265×210 de 124 p. avec atlas même format de 111 fig.). Lille, G. Dubar et Cie, 1899-1900. 40998 à 41001

HOWE (H.-M.) — *La Métallurgie de l'acier*, par Henry Marion Howe. Traduit par Octave Hock (in-4°, 365×255 de VII-476-XXI p. avec 232 fig.). Paris, Baudry et Cie, 1894. 40997

LINKENBACH (C.). — *Traité pratique de la préparation des minerais*. Manuel à l'usage des praticiens et des Ingénieurs des mines, par C. Linkenbach. Traduit de l'allemand par H. Coutrot (in-8°, 280×180 de XIV-158 p. avec 24 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1893. 41002

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

JUILLET 1901

N° 7

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de juillet 1901, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Chemins de fer et Tramways.

Appareil d'avertissement et de contrôle du franchissement des signaux à l'arrêt, système Cousin, Rochatte et Soubrier (in-4°, 305×210, de 35 p. avec 22 fig.). Paris, Cousin et Rochatte, Ingénieurs-constructeurs, 68, rue de la Chaussée-d'Antin. 41127

Blondel (A.) et Paul-Dubois (F.). — *La traction électrique sur voies ferrées. Voie, Matériel roulant, Traction*, par André Blondel et F. Paul-Dubois. *Tomes I et II* (2 vol. in-8°, 245×155 de xxix-841 p. et de 863 p. avec 955 fig.). Paris, Ch. Béranger, 1898. 40983 et 40984

Colson (C.). — *Abrégé de la législation des chemins de fer et tramways*, par C. Colson (in-18, 135×120 de 246 p.). Paris, Paul Dupont, 1901. 40985

Humbert (G.). — *Traité complet des chemins de fer. Historique et organisation financière. Construction de la plate-forme. Ouvrages d'art. Voie. Stations. Signaux. Matériel roulant. Traction. Exploitation. Chemins de fer à voie étroite. Tramways*, par G. Humbert. *Tomes I, II et III* (3 vol. in-8°, 285×190 de 404 p., 399 p. et 425 p., avec 701 fig.). Paris, Baudry et Cie, 1891. 40979 à 40981

HUMBERT (G.). — *Traité des chemins de fer d'intérêt local. Chemins de fer à voie étroite. Tramways. Chemins de fer à crémaillère et funiculaires*, par G. Humbert (in-8°, 280×180 de VII-493 p. avec 209 fig.). Paris, Baudry et Cie, 1893. 40982

Chimie.

BOURRY (E.). — *Traité des industries céramiques*, par Emile Bourry. *Historique. Matières premières. Pâtes plastiques. Façonnage. Séchage. Glaçures. Cuisson. Décoration. Terres cuites. Produits réfractaires. Faïences. Grès. Porcelaines* (Encyclopédie industrielle fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255×165 de 756 p. avec 349 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1897. 40986

Congrès international de Photographie. Procès-verbaux. Rapports. Notes et documents divers, publiés par les soins de M. S. Pector (Exposition Universelle de 1900) (in-8°, 250×165 de 155 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1901 (Don de M. S. Pector, Secrétaire général du Congrès). 41021

Construction des machines.

BEAU DE ROCHAS (Alph. DE). — *Nouvelles recherches sur les conditions pratiques de plus grande utilisation de la chaleur et, en général, de la force motrice, avec application au chemin de fer et à la navigation*, par Alph. Beau de Rochas (in-4°, 270×220 de 53 p. autogr.). Paris, E. Lacroix. 1862. Et description d'un brevet pris en Allemagne (Don de M. Joseph Becker, Examinateur officiel au Patent Office, Washington). 41031

BIENAYMÉ (A.). — *Les Machines marines*. Cours professé à l'École d'application du Génie maritime, par A. Bienaymé (in-4° 285×225 de 527 p. avec atlas 290×260 de 162 pl.). Paris, E. Bernard et Cie, 1887. 40987 et 40988

LAMARCODIE (G. DE). — *La surchauffe de vapeur. Le surchauffeur Schwöerer*, par G. de Lamarcodie (in-8°, 210×135, de 15 p. avec 5 fig.). Paris, Imprimerie du journal l'Industrie française, 1901 (Don de M. Karcher, M. de la S.). 41020

PIERRE-GUÉDON. — *Surchauffeur ou transformateur de vapeur système Maiche*, par Pierre-Guédon (Extrait du Bulletin technologique n° 4, avril 1901, de la Société des Anciens Élèves des Écoles Nationales d'Arts et Métiers) (in-8°, 215×135 de 23 p. avec 1 pl.). Paris, Chaix, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41055

Répartition des forces motrices à vapeur et hydrauliques en 1899. Tome II. Moteurs hydrauliques (République Française, Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, Office du travail) (in-4°, 270×220 de XXVI-197 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41033

MEBIOUSE (A.-F.). — *Tekhnitcheskii Frantsouzko- Rousskii Slovari*, de A.-F. Mebiouse (in-8°, 255 × 175 de 1 041 p.). Kharikove, 1898. 41059

Programme du Congrès des Sociétés savantes à la Sorbonne, en 1902 (Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. Comité des Travaux historiques et scientifiques) (in-8°, 265 × 170 de 16 p.). Paris, Imprimerie Nationale, juillet 1901. 41124

RAGUENET (A.). — *1900. Les principaux Palais de l'Exposition universelle de Paris*, recueillis par A. Raguenet. (Album 360 × 280 de 96 pl.). Paris, Ch. Schmid, 1900. 41008

Travaux Publics.

Annales des Ponts et Chaussées. 1re partie, Mémoires et Documents, 71e année, 8e série. 1re année 1901, 1er trimestre (in-8°, 255 × 165 de 368 p. avec 4 pl.). Paris, E. Bernard et Cie. 41057

BECHMANN (G.). — *Salubrité urbaine. Distributions d'eau et Assainissement.* par G. Bechmann (Encyclopédie des Travaux publics fondée par M.-C. Lechalas). *Tomes I et II* (2 vol. in-8°, 250 × 160 de XIX-591 p. et de XVI-665 p.). Pàris, Ch. Béranger, 1899. Seconde édition. 41009 et 41010

BRUNELLI (P.-H.). — *Calcul et construction des coupoles métalliques réticulaires*, par Pierre-Henri Brunelli. Traduit de l'italien par Désiré Mathieu (in-8°, 250 × 165 de IX-216 p. avec 101 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1901 (Don de l'éditeur). 41022

LECHALAS (G.). — *Manuel de droit administratif. Service des Ponts et Chaussées et des Chemins vicinaux. Tome I et Tome II, 1re et 2e parties*, par G. Lechalas (Encyclopédie des Travaux publics fondée par M.-C. Lechalas) (3 vol. in-8°, 250 × 160 de CXLVII-536 p., de VIII-399 p. et de VIII-396 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1889, 1893, 1898. 41011 à 41013

MALO (L.). — *Les Beaux-Arts au XXe siècle.* Communication faite à l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon, dans sa séance du 20 novembre 1900, par M. Léon Malo (in-8°, 275 × 175 de 19 p.). Lyon, Alexandre Rey, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 40973

PILLET (F.-J.). — *Un nouveau pont maritime avec balance électrique et deux nouveaux systèmes de ponts métalliques avec décor rationnel*, par F.-J. Pillet. (Mémoire manuscrit, 350 × 225 de 22 p. avec pl.). Paris, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41058

PRÉAUDEAU (A. DE) et PONTZEN (E.). — *Procédés généraux de construction Travaux d'art*, par A. de Préaudeau et E. Pontzen (Encyclopédie des Travaux publics fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 250 × 165 de 707 p. avec 508 fig.). Paris, Ch. Béranger, 1901 (Don de M. E. Pontzen, M. de la S.). 41017

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de juillet 1901, sont :

Comme Membre honoraire, M.

Émile Bertin, présenté par MM. Baudry, Salomon, de Chasseloup-Laubat.

Comme Membres sociétaires, MM.

G.-D.	Arachequesne,	présenté par MM.	Loreau, Debaecker, Gallois.
F.-R.	Bérard,	—	Canet, Niclausse, Savin.
M.-E.-H.	Bruniquel,	—	Brocq, Frager, Laurain.
G.	Chauveau,	—	Canet, Boileau, L. Périssé.
A.-F.-J.	David,	—	Dumont, Baignères, Merceron.
A.-R.	Dorado,	—	Casalonga, Lavergne, Morin.
P.	Évrald,	—	Bailloud, A. Évrard, Max.
Ch.-F.-G.	Éwald,	—	Duprat, Mendes Diniz, Spencer.
Ch.-I.-O.	Éwald,	—	Duprat, Mendes Diniz, Spencer.
H.	Gaget,	—	Avril de Gastel, de Bovet, Le Sauvage.
P.-L.	Kramer,	—	Avril de Gastel, de Bovet, Le Sauvage.
A.-G.	Laran,	—	Brousse, Giraud, Lindeboom.
W.-P.	Löescher,	—	Eude, Gauthier, P. Lemaire.
L.-L.-L.	Milsan,	—	Duchesne, Savin, de Dax.
G.-H.	Mulder Ruhaak,	—	Carimantrand, Lévi, Mallet.
S.-D.	Stucker,	—	Dumontant, Mast, Falgairolle.
G.-G.	Viard,	—	Duchesne, Savin, de Dax.
E.	Vrigny,	—	Ansaloni, Brice, Jousset.
A.	Wierre,	—	de Banville, Bonvillain, Rancelant.

Comme Membre associé, M.

A.-J.-E. Congy, présenté par MM. Duchesne, Savin, de Dax.

The Mineral Industry, its Statistics, Technology and Trade in the United States and other Countries to the and of 1900. Founded and edited by Richard P. Rothwell and compiled by Joseph Struthers. *Vol. IX. Supplementing vol. I to vol. VIII* (in-8°, 240 × 155 de xxx-986 p.). New-York and London, The Scientific Publishing Company, 1901. 41036

Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Vol. I to VIII, 1892-1893 to 1899-1900 (8 vol. in-8°, 210 × 135). London, Broad Street House E. C. 41023 à 41030

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

LAROCHE (F.). — *Ports maritimes*, par F. Laroche (Encyclopédie des Travaux publics fondée par M.-C. Lechalas). *Tomes I et II* (2 vol. in-8°, 250 × 165 de xv-526 p. et de 452 p. avec 2 atlas, 325 × 260 de 22 pl. et de 15 pl.). Paris, Baudry et Cie, 1893. 40993 à 40996

VAN MUYDEN (A.) — *Le régime du lac Léman et de ses affluents au cours de la période décennale de 1890-1899*, par A. Van Muyden. Communication faite à la Société vaudoise des Ingénieurs et Architectes, dans sa séance du 12 janvier 1901. (Extrait du Bulletin technique de la Suisse romande) (in-8°, 215 × 140 de 15 p. avec 1 pl.). Genève, Imprimerie suisse, 1901 (Don de l'auteur). 40976

VAN MUYDEN (A.) — *Le régime du Rhône alpestre observé au pont de Collonges, près de Saint-Maurice.* Note par M. A. Van Muyden (Extrait des Annales des Ponts et Chaussées, 4e trimestre 1900) (in-8°, 230 × 145 de 16 p. avec 1 pl.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1900 (Don de l'auteur). 40975

VERNON-HARCOURT (L.-F.). — *The Paris Navigation Congress 1900, Recent Works on the lower Seine; Harbour Works at Havre and at Zeebrugge; and Improvement effected by the French Lighthouse Service*, by Leveson Francis Vernon-Harcourt (Excerpt Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. CXLV. Session 1900-1901. Part. III) (in-8°, 215 × 140 de 38 p. avec 1 pl. et 16 fig.). London, Published by the Institution, 1901 (Don de l'auteur). 41126

Physique.

VIOLLE (J.). — *Cours de physique*, par J. Violle. *Tome I. Physique moléculaire, 1re et 2e parties* (2 vol. in-8°, 250 × 160 de xvi-1021 p. avec 565 fig.). *Tome II. Acoustique et Optique. 1re partie, Acoustique; 2e partie, Optique géométrique* (2 vol. in-8°, 250 × 160 de v-664 p. avec 439 fig.). Paris, G. Masson, 1883-1885-1892. 41003 à 41006

Sciences mathématiques.

HADAMARD (J.). — *La Série de Taylor et son prolongement analytique*, par J. Hadamard (Scientia, Mai 1901. Phys. Mathématique, n° 12) (in-8°, 200 × 130 de 102 p.). Paris, C. Naud, 1901 (Don de l'éditeur). 41015

PILLET (J.-J.). — *Traité de Perspective linéaire, précédé du tracé des ombres usuelles (Rayon à 45 degrés) et du Rendu dans le dessin d'architecture et dans le dessin de machines*, par J.-J. Pillet (Encyclopédie du dessin et de la construction) (in-4°, 325 × 255 de 280 p. avec 449 fig.). Paris, Librairie des Arts du dessin et de la construction, 1901, 3e édition (Don de l'auteur, M. de la S.). 40016

Rapport de la Commission d'enquête sur les Laboratoires officiels d'essais de Berlin, Munich, Dresde, Vienne et de Prague (Conseil d'administration du Conservatoire national d'Arts et Métiers) (Extrait des Annales du Conservatoire d'Arts et Métiers, 3e série, tome III) (in-8°, 225 × 140 de 70 p.). Paris, Gauthier-Villars. 41128

Technologie générale.

Association française pour l'avancement des sciences. Compte rendu de la 29e session. Paris, 1900. Seconde partie. Notes et Mémoires (in-8°, 245 × 155 de 1 171 p. avec 12 pl.). Paris, au Secrétariat de l'Association, 1901. 41125

Congrès des Sociétés savantes, à Nancy. Discours prononcés à la séance générale du Congrès, le samedi 13 avril 1901, par MM. Mascart, Pfister, Le Monnier et Decrais (in-8°, 270 × 175 de 56 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41123

DA CUNHA (A.) et NANSOUTY (Max). — *L'année technique du Répertoire général (1900-1901)*, par A. Da Cunha. Préface de Max de Nansouty (in-8°, 280 × 180 de XI-201 p. avec 94 fig.). Paris, Librairie des Publications officielles, 1901 (Don de M. A. Da Cunha, M. de la S.). 40978

DIDEROT et D'ALEMBERT. — *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, par une Société de gens de lettres. Mis en ordre et publié par MM. Diderot et d'Alembert. *Tomes I à XVII. Suppléments, Tomes I à IV. Tables, Tomes I et II. Planches, Tomes I à XII*, ensemble 35 vol. in-f° 400 × 250). Paris, 1751 à 1780. 41088 à 41122

Düsseldorfer Austellungs Zeitung. Amtliches Organ der Industrie- Gewerbe- und Kunst- Ausstellung Düsseldorf, 1902. Nos 1 à 21. Mars 1900 à juillet 1901 (17 fascicules 315 × 230). Düsseldorf, J.-B. Gerlach und Co (Don de l'éditeur). 41038 à 41054

Festschrift zur 42. Hauptversammlung des Vereins deutscher Ingenieure in Kiel, Juli 1901, Schleswig- Holsternischer- Bezirksverein (Album 230 × 320 de 231 p.(. Berlin- Schöneberg, Meissenbach, Riffarth und Co (Don de la Verein deutscher Ingenieure). 41037

LEDELEY (E.). — *Paris 1900. Exposition universelle, Champs-Élysées, Invalides, Champs-de-Mars, Palais étrangers, Trocadéro.* Héliotypies de E. Ledeley (Album 290 × 390 de 50 pl.). Paris, E. Ledeley, 1900. 41007

Koerting, Longuemarre, G. Richard, de Dion-Bouton, Duplex, le distributeur Gobron-Brillié, etc.

M. L. Périssé passe ensuite en revue les expériences faites sur les moteurs fixes depuis qu'on s'occupe de cette question ; il donne de très nombreux renseignements numériques sur les résultats obtenus, tant en France qu'en Allemagne, au Concours agricole de Paris et au Concours agricole de Halle-sur-Saal.

A côté des moteurs fixes, l'alcool a été utilisé dans les automobiles et trois grandes manifestations sportives ont permis d'étudier la marche des automobiles avec l'alcool.

Ce sont les courses de Paris-Chantilly en 1899, Paris-Rouen en 1900 et Paris-Roubaix en 1901.

Des tableaux de consommation à la tonne kilométrique permettent de comparer les résultats obtenus par les différents véhicules marchant, les uns à l'alcool dénaturé, les autres avec les mélanges carburés à 50 et 75 0/0.

Enfin dans un dernier chapitre, M. L. Périssé fait ressortir les avantages et les inconvénients de l'alcool moteur, en indiquant les conditions les meilleures, d'après lui, pour obtenir un effet utile maximum, et décrit le carburateur à brassage et réchauffage convenables, les moteurs à longues courses et à forte compression, etc. Il fait connaître les chiffres de prix de revient du cheval-heure qui ont été obtenus en France dans des expériences offrant toutes garanties, et, rappelant les conclusions de sa communication de juin 1899, il montre comment les expériences répétées faites depuis quelques mois permettent de les modifier.

M. Armengaud jeune rappelle qu'il y a une vingtaine d'années (1) il a fait une communication à la Société sur les moteurs à gaz, et apporté une théorie sur le nouveau moteur Otto à quatre temps. Il avait exposé quelques calculs pour montrer les avantages de la compression préalable. En principe, on sait que cette compression, si l'on ne tient compte que de l'action mécanique, ne doit pas donner un meilleur rendement ; par exemple dans une pompe à air, si on comprime de l'air que l'on détend ensuite, le travail de détente est inférieur au travail de compression. Mais, dans le moteur à gaz détonant, il existe d'autres phénomènes d'ordre physique et chimique, ce qui faisait dire à M. Armengaud que les moteurs à gaz ou à pétrole donnent la synthèse la plus complète des phénomènes de la thermo-dynamique ; et l'expérience d'accord avec la théorie a montré que, dans le moteur à gaz, il n'y a pas avantage à pousser la compression au delà de 2,5 *atm*.

A l'Exposition de Halle, la compression préalable dans les moteurs à alcool a été poussée jusqu'à 6 *kg*. En effet, avec l'alcool, on conçoit qu'on puisse arriver à un plus haut degré de compression ; le mélange se fait de façon plus intime, et la compression n'amène pas, comme dans le cas de l'air carburé, une dissociation d'essence de pétrole dans l'air ; la détente se fait donc dans de meilleures conditions.

(1) Séance du 15 février 1878.

Or, l'eau existant dans l'alcool, qui n'est qu'un hydrocarbure hydraté, permet de faire une meilleure détente.

M. Armengaud n'est donc pas étonné que le rendement du moteur à alcool puisse atteindre 23 0/0 ainsi que l'a montré M. Périssé, et dans ces conditions, il n'y aura pas à hésiter à donner la préférence à l'alcool, surtout si le prix doit s'abaisser à 0,25 *f*, comme cela existe, paraît-il, en Allemagne.

M. Arachequesne remercie d'abord la Société du grand honneur qui vient de lui être fait de l'admettre parmi ses Membres. Il demande à dire quelques mots à propos des moteurs allemands.

Ces moteurs marchent admirablement; mais, en réalité, il n'y en a pas eu un seul construit uniquement pour l'alcool. Les fabricants de moteurs allemands, au lieu de prendre comme point de départ les courses de voitures automobiles, ainsi que nous l'avons fait en France, sont partis d'un tout autre point de vue. Ils sont partis d'expériences qui avaient été faites à l'Institut des fermentations de Berlin. Les Allemands ont voulu mettre sur pied la question de l'alcool et des emplois de l'alcool, pour sauver leur agriculture. On a fait des essais dont a parlé M. Périssé, et qui ont porté sur une série de moteurs, tous de 8 *ch*, à vapeur, à essence de pétrole, à alcool et à pétrole. M. Arachequesne dépose sur le Bureau une liste qu'il demande à M. Périssé de vouloir bien annexer à son mémoire. Cette liste donne les chiffres, traduits en marks, en pfennigs, et qui montrent que le prix de revient du cheval-heure, pour la vapeur, est de 18 pfennigs; pour l'essence de pétrole, de 20,8; pour le pétrole, de 16; c'est-à-dire qu'il y a égalité entre le pétrole lampant et l'alcool.

Voilà quelle est la situation en Allemagne. On comprend immédiatement que l'agriculture, devant ces résultats officiels, a développé la production de l'alcool, et que les constructeurs allemands ont produit presque un millier de moteurs depuis un an. Si l'on songe que, d'après les chiffres ci-dessus, chacun de ces moteurs consomme au maximum 100 *hl* d'alcool par an, cela fait près de 100 000 *hl* d'alcool qui sont fabriqués en plus de ce chef. C'est un résultat excellent obtenu par les Allemands.

Au point de vue du rendement réellement obtenu en Allemagne, les moteurs à alcool, en les mettant au point, ne sont pas autre chose que des moteurs à gaz. Le seul problème à résoudre est d'obtenir de la vapeur toujours sèche pouvant se mélanger à de l'air sec. C'est la condition qui permet à l'alcool de lutter contre le pétrole. Or, les Allemands ont toujours eu besoin d'employer l'air chaud pour arriver à empêcher la condensation des vapeurs d'alcool lorsqu'il rencontre de l'air froid. Ce procédé est peut-être un peu barbare, par cette raison que, pour commencer à échauffer l'air, il est absolument indispensable de faire fonctionner le moteur avec de l'essence, ce qui occasionne l'emploi d'un double réservoir et nécessite deux liquides qu'on n'a pas toujours partout.

Les constructeurs français peuvent mettre en marche uniquement avec de l'alcool.

Donc, par ce que nous avons vu aux concours agricoles, au point de

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUILLET 1901

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 5 JUILLET 1901

Présidence de M. Ch. Baudry, Président.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que notre collègue M. H. Fayol a été nommé Membre de la Commission chargée d'étudier les questions relatives à la durée du travail dans les mines, instituée auprès du Ministre des Travaux publics.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès des Collègues dont les noms suivent :

M. J. F. Berendorf, Membre de la Société depuis 1875, constructeur de machines à vapeur ;

M. Ch. Claudel, ancien Élève de l'École des Arts et Métiers de Châlons (1837), Membre de la Société depuis 1878, Ingénieur civil, ancien Maire de Senones (Vosges) ;

M. E.-A. Jousset, Membre de la Société depuis 1901, entrepreneur de travaux publics ;

M. J. Lescasse, Membre de la Société depuis 1876, Ingénieur-architecte, Directeur de la Compagnie Française des Pétroles de Relizane (Algérie) ;

M. L. Paupier, Membre de la Société depuis 1882, Ingénieur-constructeur d'instruments de pesage et de levage et de petit matériel de chemin de fer, Président honoraire de la Chambre syndicale des Poids et Mesures, Vice-président de la Chambre syndicale des Constructeurs de machines agricoles, Chevalier de la Légion d'honneur ;

M. H.-R.-Y. de Séprès, ancien Élève de l'École Centrale (1856), Membre de la Société depuis 1868, Ingénieur attaché à la Direction des Chemins de fer du Nord de l'Espagne.

M. le Président adresse aux familles de nos regrettés Collègues l'expression de nos sincères sentiments de condoléance.

M. le Président est heureux d'annoncer que deux de nos Collègues ont obtenu des prix de la Société centrale des Architectes français; ce sont :

M. J. Hermant, qui a reçu la grande médaille d'argent (Architecture privée) ;

M. H. Lorphelin, qui a obtenu une médaille d'argent (Personnel du bâtiment) ;

M. le Président adresse à nos Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président annonce que la Société a reçu, du Ministère des Colonies, avis d'une adjudication qui doit avoir lieu à Paris, le 23 juillet 1901, à 2 heures et demie, rue Jean-Nicot, n° 4, pour la fourniture de tabliers métalliques, boulons d'éclisses, rondelles, matériel d'entrepreneur, le tout destiné au chemin de fer d'Aniverano au Mangoro et à celui de Mahatsara à Tananarive (Madagascar).

Le cahier des charges peut être consulté au Ministère des Colonies (Inspection générale des Travaux publics), à la Direction de l'Office national du Commerce exterieur, rue Feydeau, n° 3, à l'Office colonial et à la Chambre de Commerce.

L'Association des Industriels de France contre les accidents du travail a fait parvenir le programme du concours ouvert par elle pour un protecteur garantissant les ouvriers fondeurs contre les brûlures pouvant atteindre les pieds et le bas des jambes.

Le programme de ce concours est déposé au Secrétariat.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance.

Cette liste sera insérée dans un prochain Bulletin.

L'ordre du jour appelle la communication de M. L. Périssé sur *les Moteurs à alcool.*

M. L. Périssé fait une étude très complète des moteurs à alcool, faisant suite à la communication présentée par lui, en juin 1899, sur le même sujet. Il montre tout l'intérêt qu'il y a à utiliser dans les moteurs à explosion, au lieu des pétroles et autres hydrocarbures d'origine étrangère, un produit de notre sol national qui a l'avantage de pouvoir être fabriqué avec n'importe quel végétal ou résidu sucré, et qui est constant de composition, quelle que soit son origine.

Après avoir rappelé les principales propriétés physiques et chimiques des alcools industriels, c'est-à-dire qui ont été dénaturés selon la formule exigée par la Régie, puis carburés au moyen de benzol pour élever le pouvoir calorifique, M. Périssé donne quelques renseignements statistiques et législatifs sur la situation en France et à l'étranger.

Il fait une monographie avec projections des principaux appareils employés, les carburateurs Pétréano, Delahaye, Le Blon, Martha,

vue des moteurs à alcool, les constructeurs français sont supérieurs aux constructeurs allemands. La seule supériorité de ces derniers est d'avoir eu l'idée de mettre leurs moteurs sur des roues traînées par des chevaux, ou sur des locomotives.

M. A. Lecomte croit impossible de faire la compression et une grande détente pour l'alcool comme pour le gaz pauvre. Ainsi les moteurs Otto, connus dans le monde entier depuis une vingtaine d'années, ne compriment pas à plus de 2,5 *kg*, pour avoir la douceur de marche.

Pour le gaz pauvre, il faut lui fournir des calories pour qu'il s'enflamme. Mais l'alcool n'est pas un gaz pauvre; il pèse 2 ou 3 *kg* et possède 12 000 calories. On carbure l'alcool avec de la benzine extraite du gaz et du goudron. Lorsqu'on mélange de la benzine avec de l'alcool, 10 0/0 de benzine rendent le produit inflammable à environ 0°. Plus on met de benzine, meilleur sera le résultat.

Mais le point important est de savoir régler le moteur. On ne peut faire de fortes compressions dans le moteur sans, en même temps, diminuer la détente.

M. Lecomte signale aussi l'importance de l'allumage. Naguère, on allumait à l'électricité; les machines tournaient à 100 tours au maximum, et on pouvait faire ce qu'on voulait. Maintenant, on a le tube; on est encore maître de son point d'inflammation que l'on peut avancer ou reculer, mais cela ne suffit pas. Tout tient à l'allumage. S'il se fait au point mort, on va retrouver la détente beaucoup plus loin, d'où il résulte une grande perte. Ce point n'a jamais été signalé.

Enfin, M. Lecomte attire l'attention sur ce fait, que plus on comprime l'alcool, plus grand est le dépôt de condensation, d'où consommation plus forte.

Il y a donc intérêt à ne pas exagérer cette compression.

M. F. Manau, à l'inverse de M. Arachequesne, croit à la supériorité des Allemands dans la question des alcools. Il a été frappé de la quantité de moteurs qui fonctionnaient à l'Exposition de Halle, et proteste contre l'assertion erronée, selon lui, que les Allemands se seraient contentés de faire marcher à l'alcool leurs moteurs à gaz ou à pétrole.

Les Allemands sont arrivés à étudier un moteur à alcool spécial et c'est ce qui fait qu'ils ont une avance sur nous. De plus, la question de l'alcool est généralisée en Allemagne, où on l'utilise pour l'éclairage et le chauffage depuis longtemps déjà et où l'on commence maintenant à l'utiliser industriellement pour la force motrice, tandis qu'elle est à peine à l'état d'enfance chez nous. Eu égard aux quantités considérables consommées et augmentant d'année en année, chez nos voisins, on peut se rendre compte des quantités plus grandes qui seront utilisées maintenant, étant donné que les moteurs sont construits spécialement pour marcher à l'alcool.

Ces résultats tiennent à ce qu'ils n'ont pas attendu le Gouvernement; c'est l'initiative privée qui a marché suivant un programme bien combiné. Ils ont une organisation technique et une organisation commerciale. L'organisation technique est de faire des expériences et de donner des résultats d'appréciation basés sur les caractéristiques les plus sérieu-

ses. L'organisation commerciale englobe toutes les distilleries allemandes ; chaque distillerie est obligée de donner une somme déterminée par quantité d'alcool distillé. Non seulement les alcools ne paient pas de droits, mais ils ont encore une prime avantageuse. C'est ce qui a créé ce que nous voyons en Allemagne. Il y a là une question nationale, qui doit appeler notre attention. Les Allemands sont arrivés à remplacer le produit d'importation par un produit national : c'est à nous d'arriver, en France, également à remplacer le pétrole, qui est un produit d'importation, par l'alcool, qui est aussi, chez nous, un produit national.

M. G. Chauveau, revenant sur la question de la compression, fait remarquer que son importance est capitale, que c'est grâce à elle, en effet, que l'on a pu, non seulement créer le moteur moderne, mais encore en améliorer le rendement. En effet, alors que les moteurs sans compression consommaient de 1 500 à 1 800 *l* de gaz par cheval-heure effectif, que le moteur Otto, grâce à sa compression de 2,5 *kg* donnait déjà le cheval avec 900 ou 1 000 *l*, maintenant, grâce à 6 à 7 *kg* de compression, on abaisse la consommation à 600 ou 700 *l* par cheval. L'action de la compression permet, en effet, d'élever la pression explosive, sans augmenter sensiblement la température, et d'augmenter ainsi la détente puisque le but commun est la pression atmosphérique. En outre, la compression permet une économie de combustible en rendant possible la réduction de la richesse du mélange, qui s'enflamme quand même, grâce au rapprochement des molécules et à la réduction des parois.

En fait, la limite de la compression ne peut être donnée que par l'auto-inflammation du mélange employé. Quant aux hautes pressions résultantes, on les manie assez bien dans les moteurs actuels. Le moteur à alcool doit et peut marcher à très forte compression, pour être économique, parce que l'inflammation y est difficile, et parce que l'auto-inflammation n'y est pas à craindre. C'est le raisonnement et l'expérience qui permettent à M. G. Chauveau de parler ainsi.

M. le Président remercie M. L. Périssé d'avoir bien voulu continuer à tenir la Société au courant des progrès de l'industrie si intéressante des moteurs à alcool. Il remercie également tous les orateurs qui ont pris part à la discussion et qui nous ont apporté, les uns des renseignements très intéressants sur le développement des moteurs à alcool en Allemagne, les autres des considérations de grande importance sur le degré de compression et le mode d'allumage les mieux appropriés à l'alcool.

La parole est à M. E. Laurent pour sa communication sur *les Appareils servant à l'Anthropométrie et à la Photographie judiciaires.*

M. E. Laurent, dans un court exposé, fait ressortir les conditions à réaliser dans la construction et l'utilisation des instruments et appareils employés pour l'anthropométrie et pour la photographie judiciaires.

Notre Collègue passe successivement en revue les trois signalements usités actuellement en matière judiciaire :

Le signalement *anthropométrique* ;

Le signalement *descriptif* ;

Le signalement par les *marques particulières.*

Le signalement *anthropométrique* a pour objet, au moyen des mesures relevées sur certaines parties du corps, d'établir une fiche d'identité permettant, en adoptant une classification spéciale, de retrouver instantanément la fiche, anciennement établie, d'un malfaiteur cachant son identité.

Les diverses opérations de la mensuration sont faites sous les yeux de l'auditoire. La méthode de classification est également décrite par notre Collègue. On peut la résumer en quelques mots, en disant que la recherche d'une fiche s'opère par élimination successive des mesures prises sur le sujet, en commençant par les plus caractéristiques.

Le signalement *descriptif* a pour objet de traduire, par quelques mots convenus, certains signes caractéristiques du visage.

Ce signalement est basé sur la description des diverses parties du visage : front, nez, yeux, oreilles, etc. Des projections nombreuses de différentes formes de nez, d'oreilles, sont faites, et montrent les diversités extrêmes que présentent ces organes. L'oreille surtout offre des caractères presque absolus d'identification.

Le rôle du signalement *par les marques particulières* est d'affirmer de façon absolue l'identité d'un sujet reconnu au moyen de son signalement anthropométrique.

Les moindres cicatrices, signes, tatouages, y sont minutieusement décrits. Des signes abréviatifs sont employés pour ces diverses descriptions.

M. E. Laurent passe ensuite à une des parties les plus intéressantes de sa communication : La photographie judiciaire.

Les conditions à réaliser pour une pareille photographie sont toutes différentes de celles que cherchent les photographes ordinaires. Il faut ici : 1° une unité de réduction ; 2° une grande netteté.

Ces conditions essentielles sont réalisées au moyen d'appareils minutieusement étudiés dans toutes leurs parties.

Le simulacre d'une opération est fait sous les yeux de nos Collègues qui peuvent se rendre compte de la rapidité et de la précision avec lesquelles cette opération peut être faite.

M. E. Laurent donne ensuite un aperçu des résultats obtenus par la méthode Bertillon, adoptée par le plus grand nombre des pays étrangers, et fait ressortir les avantages de l'internationalisation générale de ce système.

Il termine sa communication en attirant l'attention de nos Collègues sur l'intérêt considérable qu'il y aurait à généraliser cette méthode d'identification. Fixer de façon certaine l'individualité de tous, serait en effet une chose excellente dans bien des cas : guerre, voyages lointains, accidents, assurances sur la vie, etc.

M. le Président remercie M. Laurent de son exposé qui a vivement intéressé la réunion. Il constate avec plaisir le grand succès de la méthode scientifique de notre compatriote M. Bertillon, dont notre Collègue vient de nous entretenir.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Ch. Vattier sur la *Situation minière et métallurgique du Chili et de la Bolivie.*

M. Ch. Vattier dit qu'il y aurait intérêt pour les ingénieurs à connaître tout ce qui se passe à l'Étranger, surtout dans les pays très lointains, aux points de vue industriel, minier, métallurgique, et qu'il serait nécessaire d'entretenir des rapports directs avec certains pays de l'Amérique du Sud, pour acquérir directement en France, sans passer par l'intermédiaire d'autres pays européens, leurs métaux, produits métallurgiques, minerais et minéraux.

Il examine la situation du Chili et montre les conditions exceptionnellement avantageuses qu'il offre pour le développement de l'industrie, des mines et de la métallurgie.

Il montre la production, en 1900, des métaux exploités, or, argent, cuivre, manganèse, fer, etc., et étudie les divers procédés de voie sèche, voie humide, électrolytique, ainsi que les perfectionnements qu'on pourrait y introduire, en insistant sur les avantages certains et les facilités que rencontreront au Chili les innovateurs de toutes nouvelles industries.

Il développe ensuite quelques considérations et observations sur les mines et la métallurgie en Bolivie, République Argentine et au Brésil.

Il insiste sur l'importance des études actuelles relatives à l'emploi de l'électro-métallurgie et des fours électriques pour la fonte des minerais, et à ce sujet il décrit le procédé employé à Darfo (Italie), par le capitaine Ernesto Stassano, et montre le grand avenir réservé à ces procédés.

M. Ch. Vattier termine en signalant les services rendus par le Bulletin de la Société des Ingénieurs civils à tous les ingénieurs résidant dans les pays lointains, aux points de vue industriel et patriotique.

M. le Président remercie M. Ch. Vattier des renseignements qu'il vient de donner avec une grande compétence sur les richesses minérales et les industries métallurgiques d'un pays qu'il connait mieux que personne.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. M.-E.-H. Bruniquel, A.-R. Dorado, P. Evrard, I.-O. Ewald, G.-A. Laran et A. Wierre, comme Membres sociétaires.

MM. G.-D. Arachequesne, F.-R. Bérard, G. Chauveau, A.-F.-J. David, Ch.-F.-G. Ewald, H. Gaget, P.-L. Krämer, W.-P. Loescher, L.-L.-L. Milsan, G.-H. Mulder Ruhaak, S.-D. Stücker, G.-G. Viard et E. Vrigny sont reçus Membres sociétaires et

M. A.-J.-E. Congy, Membre associé.

La séance est levée à minuit et demi.

Le Secrétaire,
Georges Courtois.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 19 JUILLET 1901

Présidence de M. Ch. Baudry, Président.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer les décès de :

M. Jules Grelley, Membre de la Société depuis 1875, officier de la Légion d'honneur, Directeur honoraire de l'École supérieure de commerce de Paris, Inspecteur régional de l'Enseignement technique;

M. E.-A. Wittmann, Membre de la Société depuis 1899, Directeur général de la Compagnie méridionale Vesuviana du Gaz, Procurateur général pour l'Italie de la Société générale des Borax.

M. le Président adresse aux familles de nos regrettés Collègues, l'expression de la respectueuse sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que :

M. A. Pillé, de la Maison Daydé et Pillé, a été nommé Officier de la Légion d'honneur, et que :

M. P. Guédon a reçu de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale une médaille d'argent pour un système de distribution à recouvrements variables.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un prochain Bulletin.

M. le Président dépose également sur le bureau un pli cacheté qui a été remis à la Société, le 10 juillet courant, par notre Collègue, M. Quiniou.

M. le Président annonce que M. Canet, notre ancien Président, a fait abandon à la Société d'un certain nombre de coupons, échus à ce jour, de l'emprunt fait pour la construction de l'hôtel, et dont le montant s'élève à 151,20 *f*.

Il adresse à M. Canet, qui est coutumier du fait, les vifs remerciements de la Société.

M. le Président informe la Société que la réunion d'automne de l'Iron and Steel Institute aura lieu à Glasgow, sous la présidence de M. William Whitwell, les 3, 4, 5 et 6 septembre prochain.

M. le Président rappelle que, conformément à l'usage, pendant les vacances, les bureaux et la bibliothèque seront ouverts de 9 heures à midi et de 1 heure et demie à 5 heures.

L'ordre du jour appelle la communication de M. G. Charpy, sur *les Essais des métaux à la flexion, par choc de barreaux entaillés.*

M. le Président, avant de donner la parole à M. Charpy, remercie les Ingénieurs étrangers à la Société qui ont bien voulu l'honorer de leur présence et, notamment, M. l'Inspecteur général Ricour, Directeur de l'École des Ponts et Chaussées, qu'il invite à prendre place au bureau; M. Le Chatelier, Membre du Comité de Direction de l'Association internationale pour l'étude des méthodes d'essai, M. Résal, M. Alby, etc.

M. G. Charpy fait ensuite sa communication dont le mémoire est paru dans le *Bulletin* de juin 1901.

Il complète les indications de son mémoire, en disant, d'après de nouveaux renseignements que l'appareil de M. Fremont, pour mesurer la force vive que garde le mouton après avoir produit la rupture, a été décrit par l'inventeur dans les comptes rendus de l'Académie des Sciences, en octobre 1897, et que celui de M. Russel est décrit dans le Bulletin des Ingénieurs civils américains, de décembre 1897.

M. L. Salomon, pour montrer l'importance du sujet qui vient d'être traité, cite un cas où il a pu constater par lui-même les mauvais résultats donnés en service par des aciers qui, aux essais à la traction, ainsi qu'aux essais usuels à froid et à chaud, avaient donné des résultats satisfaisants. Il s'agissait de longerons de locomotives, en acier Thomas donnant environ 42 *kg* de résistance, et 21 0/0 d'allongement. En service, au bout de quelques milliers de kilomètres, ces longerons ont présenté des fissures aux angles des logements des boites à huile. Ce sont ces résultats défavorables qui ont amené la Compagnie de l'Est à étudier les nouvelles méthodes d'essai déjà préconisées par MM. Considère, Fremont, A. Le Chatelier, et à entreprendre, avec le concours de MM. Barba et Le Blant, les essais dont M. Barba a donné le compte rendu dans le *Bulletin* d'avril 1901.

Après avoir lu le mémoire de M. Charpy, M. Salomon croit qu'il convient d'étudier de très près les méthodes qu'il propose, et est très disposé à se rallier à son mode d'entaillage de barreaux qui doit évidemment donner des éprouvettes tout à fait semblables les unes avec les autres. Mais il croit que M. Charpy a tort de préconiser une succession de chocs pour les essais de réception. Il trouve son pendule extrêmement simple et espère qu'il pourra être employé dans la pratique industrielle aussi bien que dans les études scientifiques.

M. Henry le Chatelier croit devoir insister, à son tour, sur l'utilité très grande du mode d'essai dont M. Charpy vient d'entretenir la Société. Il n'est pas douteux qu'il y a des propriétés mécaniques qui ne sont pas définies par les résultats de l'essai de traction. Il est non moins certain qu'il y a des métaux, ayant satisfait d'une façon convenable à l'essai de traction, et qui ont donné lieu à des accidents. On a cherché à s'en prémunir en multipliant dans les cahiers des charges les clauses de toute nature sur les procédés de fabrication et la composition chimique. On est arrivé à une complication extrême sans obtenir la sécurité cherchée.

Depuis les travaux de M. Considère et de M. André Le Chatelier remontant à une dizaine d'années, on s'est occupé des différents côtés de

cette propriété spéciale qui est la fragilité. La question qui se pose est de savoir si la fragilité qui se manifeste à l'emploi et celle qui se manifeste aux essais de rupture par choc sont bien une seule et même chose. C'est l'opinion des Ingénieurs les plus compétents en la matière; mais les faits cités à l'appui ne sont pas encore assez nombreux pour entraîner l'assentiment général. Il faut multiplier les recherches pour achever d'élucider la question. Les métallurgistes arriveront ainsi à modifier leur fabrication, afin d'avoir régulièrement des métaux qui ne soient pas fragiles, et, comme l'a indiqué M. Charpy, ce n'est pas seulement sur la composition chimique mais encore sur le traitement thermique qu'ils agiront. A ce sujet, M. Le Chatelier cite le fait suivant, extrait d'une note de M. Barba : un acier extra-doux a cassé sous une hauteur de chute de 0,40 *m* ; le même acier recuit à 900° a cassé à 2 *m* ; le même acier trempé à 900° et recuit à 600° a cassé sous une hauteur de 6 *m* ou de plus de 6 *m*. Ces changements s'expliquent très facilement quand on se reporte à la structure si facile à étudier aujourd'hui par les procédés de la métallographie.

M. Le Chatelier donne un exemple de cette étude métallographique en faisant projeter trois coupes d'un même acier, provenant d'un cœur d'aiguille cassé. A l'état naturel le métal présente un très gros grain. Après recuit au-dessus du point de recalescence, le grain est devenu dix fois moins gros, et enfin, après trempe et recuit, le grain est devenu complètement invisible.

Outre les accidents qu'il permettra d'éviter, le nouveau mode d'essai ne peut manquer d'avoir les conséquences les plus importantes pour la construction.

Il contribuera à la disparition définitive du fer soudé dont le seul avantage est l'absence habituelle de fragilité.

Il permettra ensuite d'employer des aciers durs, dont les avantages sont évidents, et dont l'emploi n'est limité que par crainte de la fragilité. On ne la craindra plus quand on aura un moyen sûr de la reconnaître. La marine est déjà entrée dans cette voie.

Enfin, l'introduction du nouveau mode d'essai dans les cahiers des charges aura l'avantage de pouvoir les simplifier, en supprimant les nombreuses conditions qui n'y ont été introduites que par crainte de la fragilité, sans atteindre, d'ailleurs, complètement leur but.

M. Aug. Mesnager craint qu'en se lançant dans un nouvel essai qu'on qualifie d'essai de fragilité, on n'attribue aux mots une importance trop considérable. Quelle est, en effet, la fragilité que décèlent les essais de M. Charpy? D'après les expériences citées, les résultats paraissent les mêmes, que la vitesse soit faible ou qu'elle soit considérable. Par conséquent, c'est une propriété indépendante de la vitesse du choc qu'ils mettent en évidence. Aussi M. Mesnager craint-il qu'en renonçant à tous les autres essais, on ne les remplace par un essai ne décelant qu'une partie des propriétés du métal. Il lui semble même que l'essai proposé donne, d'après M. Charpy même, des renseignements, autant sur la résistance statique que sur la résistance dynamique, de sorte qu'en supprimant tous les autres essais pour les remplacer par cet essai sur éprou-

vette entaillée, on ne mettrait pas en évidence toutes les propriétés du métal. Aussi n'est-il pas d'avis d'accepter dès aujourd'hui la substitution de cet essai à tous les autres.

M. le Président constate que ce qui manque au nouveau mode d'essai pour entrainer l'adhésion générale, c'est, commo l'a d'ailleurs indiqué M. Le Chatelier, qu'on n'a pas encore établi une corrélation suffisante entre ses résultats et la fragilité constatée dans la pratique. Il faudrait, par exemple, que des Compagnies de chemins de fer ayant eu des essieux de locomotives, dont les uns auraient fait un très bon service tandis que d'autres se seraient cassés prématurément, pussent dire si les premiers avaient résisté aux essais sur barreaux entaillés, tandis que les autres n'y avaient pas résisté, les uns et les autres ayant d'ailleurs donné des essais convenables à la traction.

Il rappelle à ce sujet un travail de M. Godron, présenté à la Commission française des méthodes d'essai, et où une corrélation étroite était établie entre les résultats donnés en service par des arbres coudés de la marine et des essais sur barreaux entaillés faits par M. Auscher.

Ce sont des travaux de ce genre qu'il faut multiplier, et on ne saurait trop les recommander aux grandes administrations qui sont en mesure de les mener à bien.

M. le Président a, d'autre part, été très frappé par une observation de M. Le Chatelier. Il a dit avec beaucoup de raison que le traitement thermique peut changer complètement les qualités d'un métal donné, et il en a conclu qu'une fois en possession d'un bon criterium de la fragilité, on pourrait, au moyen de rendements thermiques convenables, présenter au consommateur des aciers n'ayant aucune fragilité. Ce sera parfait quand le consommateur devra utiliser les aciers sans avoir à les chauffer pour les travailler. Mais s'il les chauffe, les bons résultats donnés par l'essai de fragilité n'auront de valeur pour lui que si on lui a appris les précautions à prendre pour ne pas altérer la qualité première du métal. Or, ce sont des connaissances qui ne sont pas encore répandues dans les ateliers de chaudronnerie et autres, et, tant qu'il en sera ainsi, on ne peut compter que l'essai de fragilité satisfasse à lui seul le consommateur.

M. Charpy fait remarquer que, dans son travail, il n'a pas pas parlé de supprimer l'essai de traction. Il a dit qu'il y avait un nouvel essai intéressant à faire entrer dans la pratique courante. Il croit, comme M. Le Chatelier, que ce nouveau mode d'essai diminuera beaucoup, dans l'avenir, l'importance attachée jusqu'ici à l'essai de traction, mais il ne propose pas, pour le moment du moins, de supprimer ce dernier.

M. L. Salomon demande à faire remarquer que, si l'essai sur éprouvette entaillée est une chose nouvelle, l'essai au choc ne l'est pas, et, dans les chemins de fer, on a reconnu depuis longtemps qu'il est absolument impossible de recevoir les essieux et les bandages sur le simple résultat de l'essai à la traction. Quand on fait des réceptions pour ces deux espèces de pièces, on est souvent en présence de métaux qui donnent d'excellents résultats à la traction et de très mauvais résultats au choc et, pour sa part, il avoue qu'il serait très disposé à recevoir des

bandages et des essieux sur l'essai au choc, mais qu'il ne se risquera jamais à les mettre en service en se basant sur le seul essai de traction.

M. Le Chatelier, à propos de la question de la vitesse du choc soulevée par M. Mesnager, répond qu'il y a des catégories de métaux dont les propriétés varient d'une façon continue, depuis les métaux très fragiles jusqu'à ceux qui ne le sont pas. La fonte est un métal fragile dans l'essai lent et dans l'essai rapide ; l'acier doux trempé et recuit n'est fragile ni dans l'essai lent ni dans l'essai rapide, et entre ces deux extrêmes, il existe des métaux qui sont de plus en plus sensibles aux influences de la vitesse. On trouve des métaux qui sous une hauteur de chute d'un mètre, supportent un nombre considérable de chocs, et qui, pour une hauteur de chute de 3 *m*, cassent presque net. Par conséquent, la vitesse intervient pour la zone moyenne et n'intervient ni pour les métaux très fragiles, ni pour ceux qui ne le sont pas du tout.

M. le Président constate que la discussion a porté jusqu'ici surtout sur la question de principe des essais à la flexion par choc de barreaux entaillés, et il demande si personne ne désire prendre la parole sur la question de la meilleure méthode à employer pour l'entaillage des barreaux.

M. Resal est de l'avis de M. Charpy, lorsqu'il a fait remarquer que, dans l'entaille à angles très vifs, l'usure de l'outil a une grande influence. Théoriquement, la résistance est tout à fait différente dans un barreau suivant que l'entaille est vive ou arrondie. Il y a là une vérité scientifique au-dessus des expériences.

L'idée de M. Charpy est donc tout à fait rationnelle, parce qu'il est manifestement impossible que les résultats obtenus sur un même métal avec des entailles d'acuité différente soient les mêmes, et qu'au contraire, son entaille donnera toujours une forme rigoureusement la même.

M. P. Bodin conclut de ce qui vient d'être dit que, pour faire des essais au choc et pour avoir des essais qu'on puisse comparer, il faut mettre dans les cahiers des charges l'obligation d'avoir des entailles identiques, des barreaux de dimensions identiques, un mouton du même poids et tombant de la même hauteur, y indiquer l'énergie à absorber. Mais ces conditions ne seront pas faciles à observer, notamment avec des tôles d'épaisseurs différentes et cela lui semble un écueil pour l'adoption de ce mode d'essai, ce qui serait très regrettable.

M. Le Chatelier fait remarquer que la même difficulté existe pour les essais de traction et qu'elle a été résolue. Elle le sera également pour les essais au choc de barreaux entaillés.

M. L. Baclé indique une proposition de M. Fremont qui permet de répondre à l'objection de M. Bodin. Suivant lui, la fragilité pourrait être définie par le rapport entre l'énergie absorbée par la rupture de l'éprouvette l'essai de choc et l'énergie qu'il aurait fallu développer pour la rompre dans l'essai statique.

M. Mesnager revient sur la question du terme employé pour désigner le nouvel essai. Il constate que M. Baclé donne une définition de la fragilité qui n'est pas la même que celle de M. Charpy. Il critique égale-

ment le mot de résilience employé dans son mémoire par M. Charpy parce que ce mot de résilience éveille, suivant lui, l'idée d'une résistance vive, tandis que les résultats obtenus par M. Charpy sont sensiblement les mêmes à l'état statique et à l'état dynamique.

M. le Président ne discute pas le mot de résilience; il reconnaît qu'un nouveau mot n'était pas inutile pour désigner une propriété qui n'est pas encore identifiée avec la fragilité. Mais, en sa qualité de constructeur, il déclare que la résilience ne l'intéressera pratiquement que si elle le renseigne sur la fragilité. Il en revient à recommander de nouveau les recherches sur la corrélation entre la résilience et la fragilité. Comme suite à l'observation de M. Bodin, il recommande également l'étude des précautions à prendre pour rendre les résultats comparables, quand la nature des matériaux à essayer oblige à faire varier les dimensions des éprouvettes.

Il constate l'importance que tout le monde attache avec raison à l'étude des essais de métaux à la flexion par choc de barreaux entaillés et est heureux de rappeler les noms de nos Collègues qui se sont distingués dans cette voie, M. Fremont d'abord, dont on ne saurait trop louer l'activité, l'ingéniosité et le désintéressement, M. Barba et M. Le Blant. Il remercie notre nouveau Collègue, M. Charpy, de l'importante contribution qu'il vient d'apporter à cette étude, et renouvelle ses remerciements à nos hôtes qui ont bien voulu prendre part à la discussion.

L'ordre du jour appelle la communication de M. H. Besson sur *la conservation des bois par le procédé Rütgers.*

M. H. Besson fait sa communication dont le mémoire a paru dans le Bulletin de mai dernier.

M. J. Merklen dit qu'en France, le créosotage des traverses de chemins de fer est pratiqué avec succès depuis plus de quarante ans.

La durée des traverses préparées par les Compagnies françaises, est plus grande que celle indiquée par M. Besson. D'après la note publiée par M. Dufaux dans la *Revue générale des Chemins de fer* (janvier et mai 1898) les traverses en hêtre créosoté ont une durée de plus de 30 ans.

En 1889, la Compagnie de l'Ouest a exposé des traverses en hêtre créosoté retirées du Tunnel Saint-Pierre, près de Dieppe, qui avaient 35 ans de service. Ces traverses avaient été préparées avec 15 *kg* de créosote par traverse.

Pour le pin des Landes créosoté, le Midi accuse de 10 à 15 ans et le P.-L.-M. : 12 ans (Congrès des chemins de fer 1889, rapport Herzenstein).

Le sapin de la Baltique créosoté a fourni à l'Ouest, avec 15 *kg* de créosote par traverse, de 18 à 25 ans de service sur les voies principales.

Les Compagnies anglaises emploient exclusivement le sapin de la Baltique créosoté, et le London and North Western Railway indique pour les traverses de cette essence une durée de 16 à 20 ans, avec un service complémentaire de quelques années dans les voies de garage.

Les quantités de créosote injectées dans les traverses de l'Ouest ne sont plus celles citées par M. Besson ; cette Compagnie met en ce moment 21 *kg* dans le hêtre et 18 *kg* dans le pin des Landes.

M. Merklen estime, ainsi que la généralité des Ingénieurs des Compagnies françaises, anglaises, belges, etc., que le meilleur procédé de préparation est le procédé Béthell, par la créosote.

Le mélange de chlorure de zinc et de créosote préconisé par M. Rütgers donne certainement de moins bons résultats que la créosote pure ; voici, à ce sujet, quelques notes relevées sur place dans une tournée faite en juin dernier sur une partie de voie de l'État allemand, entre Erndtebrück et Creuzthal, près d'Erndtebrück.

« Sur la ligne d'Erndtebrück à Creuzthal, nous avons parcouru à pied, » accompagné du Chef de district, deux sections de voie de 4 *km* chacun, » posées en rails Vignole, avec selles et crampons, sur traverses en » hêtre préparées au mélange de créosote et chlorure de zinc. Sur » l'une des sections, les traverses provenaient des usines Rütgers ; sur » l'autre, les traverses avaient été injectées par un autre fournisseur.

» Sur ce dernier parcours, les traverses qui ne dataient pour la plu- » part que de 1895 étaient échauffées et hors de service, dans la propor- » tion de 50 0/0 ; plusieurs étaient complètement rompues.

» Sur l'autre parcours, les traverses, placées dans la voie en 1888, » n'ont été remplacées jusqu'à présent que dans la proportion de 15,86 0/0.

» Voici le détail des quantités de traverses remplacées, fourni par le Chef » de district :

» Quantité totale de traverses en service : 17 375.

» Quantité remplacée :

de 1888 à	1892	0	soit	0	0/0
—	1893	18	—	0,10	—
—	1894	67	—	0,38	—
—	1895	287	—	1,65	—
—	1896	704	—	4,05	—
—	1897	1 490	—	8,58	—
—	1898	2 280	—	13,12	—
—	1901	2 756	—	15,86	—

» Il convient d'ajouter que, d'après l'examen qui a été fait des tra- » verses en service, il y aurait lieu d'en remplacer encore environ 1 0/0. »

Il résulte de ces faits que les traverses en hêtre préparées par M. Rütgers, avec tous les soins qu'apporte cette maison à leur préparation, présentent, au bout de 13 ans de service environ, plus de 16 0/0 de rebuts pour pourriture et que des traverses fournies depuis 6 ans seulement par une autre maison et préparées par le même procédé sont déjà pourries dans une proportion de 50 0/0.

Le hêtre injecté à la créosote pure n'a jamais donné de résultats aussi peu satisfaisants.

M. H. Besson répond que la préparation du hêtre à la créosote vaut mieux que le procédé du mélange de chlorure de zinc et de créosote. Mais c'est une question de prix. Cela dépend de l'importance que l'Administration attache à la durée des traverses. Si les traverses sont chères, on peut les préparer très bien pour durer très longtemps ; si, au contraire, elles sont bon marché, on a intérêt à les préparer avec un liquide moins cher. Pour le hêtre, la question est encore à trancher.

Quant au pin, M. Besson considère qu'il y a intérêt à employer le mélange au lieu d'employer la créosote pure.

M. le Président remercie M. Besson de sa communication très complète, et M. Merklen des renseignements qu'il a apportés sur ce qui se fait en France, et sur les résultats obtenus en France et en Allemagne.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. G.-A. Bullier, G.-C. Catala, J.-E. Catala, C.-M. Clermidy, Ch.-L. Demonchy comme Membres sociétaires, et de M. Ch.-N. Boyn comme Membre associé.

M. Émile Bertin, Directeur du Génie Maritime, est reçu Membre honoraire.

MM. M.-E.-H. Bruniquel, A.-R. Dorado, P. Evrard, Ch.-L.-O. Ewald, A.-G. Laran et A. Wierre sont reçus Membres sociétaires.

La séance est levée à 11 heures un quart.

Le Secrétaire.
Georges Courtois.

LES MOTEURS A ALCOOL

PAR

M. Lucien PÉRISSÉ

Dans l'étude de la question si complexe et si passionnante des moteurs à alcool, on se trouve aux prises avec une série de problèmes agricoles, économiques, financiers, à côté des problèmes techniques et scientifiques proprement dits : par conséquent, vouloir présenter une étude complète de chacun de ces problèmes serait sortir du cadre des travaux de la Société des Ingénieurs civils, et c'est pourquoi nous nous sommes limité à l'exposé des questions techniques et scientifiques, en ne faisant qu'indiquer brièvement celles qui sortent du domaine de l'ingénieur civil et qui, à ce titre, trouvent leur place dans les travaux d'autres Sociétés.

Il convient de rappeler que, dans la séance du 2 juin 1899, sur la demande de notre président d'alors, M. G. Dumont, nous avons présenté un exposé général de la question des moteurs à alcool à cette époque, complétant ainsi un ensemble de communications du plus haut intérêt faites à la Société, notamment sur la fabrication des alcools industriels, l'emploi de l'alcool à l'éclairage, etc.

Depuis 1899, la question de l'alcool, qui a pris une acuité particulière en présence de la crise économique que subissent certaines régions agricoles de notre pays, a fait de grands pas en avant, et c'est pourquoi il nous a semblé indispensable de reprendre la question en la complétant de façon à mettre nos collègues à même de se tenir au courant de l'état d'avancement des études entreprises, et de leur faire connaître cette branche nouvelle et qui promet d'être importante, des moteurs industriels.

Le présent mémoire est divisé en six chapitres qui sont les suivants :

I. L'alcool au point de vue national, études entreprises en France et à l'étranger. — L'avenir de l'alcool moteur.

II. Rappel des propriétés physiques et chimiques des alcools,

des dénaturants, carburants, etc. — L'alcool carburé. — Le pétrole.

III. — Statistiques et législations. — Dénaturation. — Droits sur l'alcool. — Prix des alcools.

IV. Appareils utilisés pour l'alcool. — Carburateurs — Moteurs.

V. Expériences et essais effectués avec l'alcool comme force motrice : *a*, sur les moteurs fixes; *b*, sur les automobiles.

VI. Avantages et inconvénients de l'alcool moteur. — Rendements et prix de revient.

CHAPITRE PREMIER

L'alcool, produit national.

Sans entrer dans les développements qui pourraient être faits (et ils l'ont été certainement) sur cette question d'industrie nationale, rappelons que la fabrication de l'alcool tire son importance de plusieurs causes :

L'alcool est un produit du sol français et toutes les régions agricoles sont intéressées à son développement; le nord de la France possède de nombreuses distilleries agricoles de betteraves, qui trouvent dans cette industrie divers avantages au point de vue de l'agriculture : culture de la betterave alternant avec celle des céréales, pulpes pour nourrir les bestiaux l'hiver, etc., et, si l'on voulait pousser plus loin que de raison le paradoxe, on pourrait presque dire que, pour certains agriculteurs, l'alcool n'est qu'un résidu.

L'alcool est un produit colonial, car, partout où l'on trouve des plantes sucrées, on peut produire de l'alcool; par conséquent, nos colonies ont d'autant plus intérêt au développement de la question des moteurs à alcool, que le transport des autres combustibles liquides, tels que les pétroles, s'y fait dans des conditions toujours fort désavantageuses.

Enfin, l'alcool est un produit fixe et homogène, c'est-à-dire de composition chimique sensiblement égale, quelle que soit sa provenance. On arrive, en effet, à construire des appareils distillatoires perfectionnés que nous a montrés notre Collègue Barbet, avec lesquels l'agriculteur lui-même peut fabriquer un produit très égal de composition, dans lequel le coefficient des impuretés est réduit à son minimum, et ne se manifeste que par une différence d'arome indifférente à la force motrice.

C'est là un des grands avantages de l'alcool sur le pétrole même raffiné qui est rarement un produit homogène et qui, en tous cas, est un produit d'origine exclusivement étrangère, transporté en France par navires et dont, par suite, l'importation pourrait être ralentie ou même suspendue pour des causes diverses indépendantes de notre volonté, notamment par une guerre maritime.

Toutes ces raisons, et bien d'autres encore militent en faveur de l'emploi de l'alcool dans les moteurs à explosion. Aussi nombre de personnes et de Sociétés ont-elles étudié la question ; parmi ces dernières, il faut citer en première ligne l'*Association pour l'emploi industriel de l'alcool*, fondée en 1898 par MM. Brangier et Arachequesne, qui constituèrent un groupement en vue d'étudier, au point de vue pratique, les propriétés de l'alcool industriel qu'avaient révélées les expériences entreprises en Allemagne en 1896 et 1897.

Depuis plus de quatre ans, la *Société des Agriculteurs de France*, dont la section du génie rural est présidée d'une façon pleine de compétence par notre ancien président, M. Loreau, étudie ces questions au point de vue pratique avec une fort louable ardeur ; des expériences ont été faites à plusieurs reprises et ont donné lieu à d'importantes communications.

Ne convient-il pas de rappeler que notre Société elle-même ne s'est pas désintéressée de la question, puisque la séance du 2 juin 1899 a été en partie consacrée à l'exposé des applications domestiques et industrielles de l'alcool, questions qui étaient à cette époque tout à fait à leur période de début ?

L'*Automobile Club de France* a nommé une Commission de l'alcool en janvier 1901, qui, sous la présidence très compétente de notre Collègue du bureau, M. L. de Chasseloup-Laubat, a tenu plusieurs réunions au cours desquelles des documents statistiques ont été principalement réunis ; un laboratoire d'essais a été créé à Levallois par les soins de l'Automobile Club et des recherches vont y être entreprises qui promettent d'être des plus intéressantes.

D'autres Sociétés ou publications se sont occupées de la question, notamment *l'Union Automobile de France* qui a annoncé un concours de moteurs fixes à l'alcool pour octobre prochain, sous la direction de nos Collègues Serpollet et Hérart ; les journaux quotidiens de sport *le Vélo* et *l'Auto-Vélo* ont organisé, en 1899, 1900 et 1901, des épreuves automobiles à l'alcool dont nous donnerons plus loin les résultats essentiels.

A l'Exposition de 1900, une seule maison de construction étrangère avait timidement exposé un moteur à alcool, la maison Koerting, de Hanovre, pour lequel une médaille d'or lui a été décernée.

En 1901, à l'exposition du Cycle et de l'Automobile qui a eu lieu au Grand Palais en février, marchait un moteur à alcool d'automobile de la maison Gobron-Brillié, monté sur un banc fixe qui actionnait une dynamo et une batterie de lampes à incandescence dont on nous faisait admirer la fixité. A cette même exposition, nombreuses étaient les maisons de constructions automobiles qui spécifiaient que leurs moteurs fonctionnaient indifféremment à l'essence ou à l'alcool.

Enfin, le concours agricole tenu à la Galerie des Machines en mai 1901, ainsi que l'exposition de la Société d'Agriculture d'Allemagne qui s'est tenue à Halle en Saxe, en juin 1901, ont réservé une place importante à l'alcool, et l'on y a vu fonctionner de nombreux moteurs au sujet desquels nous donnerons plus loin des indications détaillées. L'Empereur d'Allemagne a offert, dit-on, un prix d'honneur pour encourager les meilleurs résultats d'utilisation industrielle de l'alcool, et notre Ministre de l'Agriculture a montré en maintes occasions que sa sollicitude était acquise aux travaux en cours sur cette question, notamment par l'institution d'un *Concours officiel des moteurs à alcool.*

Toutes ces manifestations montrent combien cette question est à l'ordre du jour en France depuis quelque temps, parce qu'elle intéresse diverses catégories de citoyens.

Il en est de même à l'étranger : sans parler de la Belgique et de l'Angleterre où la question a été simplement posée, il convient de dire que l'Allemagne nous a devancés une fois de plus sur le terrain économique dans l'étude et l'emploi des alcools industriels et que, notamment, des essais de très haut intérêt ont été entrepris dans ce pays depuis 1895. Deux grandes Associations y ont été créées sous de hauts patronages. La première, essentiellement technique, est l'*Institut des fermentations de Berlin* qui a fait des essais depuis 1896; la seconde, commerciale, est l'*Association des distillateurs allemands* qui organise actuellement une station d'essais des moteurs à alcool avec salles d'exposition dont les frais de premier établissement ne sont pas estimés à moins de 400.000 marks.

Enfin, si l'on sort d'Europe, l'avenir du nouveau moteur ne fait de doute pour personne. Il sera facile de produire l'al-

cool dans les colonies, et l'on en trouvera sur place l'emploi dans les moteurs fixes, dans les automobiles ou dans les bateaux. On sait, en effet, à quel prix élevé le combustible minéral revient dans la plupart des colonies; d'autre part, les pétroles et les essences dont la volatilité est une cause importante de perte et d'inconvénients à l'emploi, ont un prix de revient encore plus élevé que la houille, par suite des difficultés et du prix des transports de ces produits dangereux. L'automobilisme dans nos colonies prendrait, il n'en faut pas douter, un essor sérieux lorsque l'alcool y serait produit et employé, tandis que les essais timides faits avec l'essence ont montré les difficultés de l'emploi de ce combustible au Soudan, à Madagascar, en Annam, etc. (1).

Il est facile de déduire de ces indications ou renseignements sommaires l'importance et l'urgence qu'il y a pour l'industrie française à étudier de très près, à expérimenter avec soin et à utiliser dans les moteurs, ce produit de notre sol national qui est une des richesses du pays.

L'importance capitale de la question de l'alcool tant au poin t de vue national et colonial qu'au point de vue agricole ne fait aucun doute; il appartenait, pensons-nous, à la Société des Ingénieurs Civils de ne pas se désintéresser de la question au point de vue technique et industriel, au moment où les études relatives à l'emploi de l'alcool dans les moteurs à explosion sont tout à fait à l'ordre du jour.

CHAPITRE II

Étude physique et chimique.

On sait que l'alcool ordinaire ou *alcool éthylique absolu* est un corps ternaire, c'est un liquide incolore, avide d'eau, ayant

pour formule en équivalent. . . . . $C^4H^6O^2$ ou $C^4H^4(H^2O^2)$

et en notation atomique. . . . . . . C^2H^5OH ou CH^3CH^2OH.

Il bout à 78°4 et sa densité est 0,806 à 0° et de 0,795 à 15°.

La vaporisation de l'alcool exige 9,8 calories par équivalent

(1) On cite le cas d'un distillateur des Iles Philippines qui, ayant acheté en France en 1894 un canot à pétrole, avait renoncé à l'employer en raison des difficultés insurmontables du réapprovisionnement; à sa grande satisfaction, il le fait fonctionner à l'alcool depuis quelques mois, ce produit lui revient à 15 francs l'hectolitre et le pétrole lui revenait près de dix fois plus.

(en poids 46 *g*); sa combustion qui exige au moins 7 *kg* d'air par kilogramme d'alcool produit 324,5 calories par équivalent, d'où l'on déduit que sa chaleur spécifique théorique est 7043 au kilogramme.

Cette combustion peut se produire de deux manières différentes:

1° Quand l'oxygène est en excès, on a la formule :

$$C^2H^6O + 6O = 2CO^2 + 3H^2O;$$

2° Quand l'oxygène est mesuré et à basse température, on a :

$$C^2H^6O + O = C^2H^4O + H^2O.$$

On a ainsi formation d'aldéhyde, laquelle à son tour se transforme en acide acétique

$$C^2H^4O + O = C^2H^4O^2.$$

L'acide acétique, en présence de l'alcool en excès, donne l'éther acétique, etc. On voit donc que pour la force motrice il y a grand intérêt à brûler l'alcool en présence d'un excès d'oxygène, afin d'éviter la formation des corps plus ou moins corrosifs dont nous venons d'indiquer les formations.

Signalons encore que l'alcool est un puissant dissolvant, il attaque presque tous les métaux et, à ce titre, il convient de prendre certaines précautions dans son emploi; l'expérience a montré la nécessité absolue de n'employer dans les carburateurs que des pièces en bronze de cuivre et de nickel, à l'exclusion du fer et de l'aluminium.

En pratique, on n'emploie pas l'alcool absolu; mais on livre au commerce de l'alcool contenant 10 0/0 d'eau ou d'alcool à 90°; de plus, on lui fait subir l'opération obligatoire de la dénaturation avant son emploi industriel, pour éviter la régénération de l'alcool en vue de la consommation; la fraude pourrait tenter, en effet, les industriels peu scrupuleux en raison des droits dont la proportion par rapport au prix de production est énorme.

L'opération de la dénaturation se fait, soit chez le distillateur, soit chez le négociant qui vend l'alcool dénaturé, et, dans ce cas des précautions sont prises par la Régie pour le transport jusqu'à l'usine du dénaturateur. Nous appellerons donc *par définition préalable* « alcool pur » l'alcool dénaturé à 90°, qui est le seul pratiquement utilisable dans les moteurs en raison de ce que nous venons d'exposer.

D'après la circulaire officielle des Contributions indirectes

de 1892, les alcools présentés à la dénaturation doivent marquer au moins 90° à 15° centigrades et contenir au plus 1 0/0 d'huiles essentielles.

Le dénaturant se composant de méthylène et de benzine lourde; nous allons indiquer les principales propriétés de ces corps.

Les *méthylènes* ou alcools méthyliques (formule C^2H^4O en équivalent, CH^4O en notation atomique) ou esprits de bois, qui servent à la dénaturation, doivent contenir le même titre alcoolique que l'alcool éthylique, contenir 25 0/0 d'acétone et 5 0/0 au moins des impuretés hydrogénées qui donnent au produit son odeur caractéristique et qui se retrouvent toujours, quelles que soient les opérations qu'on fait subir à l'alcool. Le méthylène a une densité de 0,814 à 0°; le poids du litre est 1,44 *g*; il bout à 65°,5.

Le prix du méthylène est élevé par rapport au prix de l'alcool; il coûte, en effet, un franc le litre et, son emploi tendant à se développer chaque jour, notamment pour la fabrication du formol, le prix ne semble pas devoir diminuer. Quant à son pouvoir calorifique, il est faible, puisqu'il ne dépasse guère 5,000 calories.

Enfin, il résulte des expériences de M. Trillat et de M. Lindet qu'on retrouve l'alcool méthylique dans tous les produits de fractionnement d'un alcool dénaturé avec 1 0/0 de ce produit.

Aussi demande-t-on que la proportion de méthylène soit réduite de 10 0/0 à 1 0/0, en se basant sur les conclusions du remarquable rapport rédigé par M. Sorel, au nom d'une Commission officielles d'études nommée en janvier 1900 par le Ministre de l'Agriculture.

Les conclusions de ce rapport en ce qui concerne la force motrice ont été les suivantes :

1° Au point de vue du développement de chaleur, un volume d'alcool carburé est sensiblement équivalent à un volume d'essence de pétrole;

2° Suppression comme dénaturant du vert malachite, réforme actuellement réalisée;

3° Fixation, pour la dénaturation, du taux d'alcool méthylique à 90° à 1 volume de ce corps pour 100 volumes d'alcool à dénaturer;

4° Fixation, pour la dénaturation, du taux de benzine lourde à 1 volume pour 100 volumes à dénaturer, cette benzine distillant à 180° au maximum.

En ce qui concerne le méthylène, il est probable que le maintien du taux de 10 0/0 est dû, tant à la garantie supplémentaire qu'y trouve la Régie, qu'aux efforts des industriels forestiers pour lesquels la dénaturation des alcools est un des principaux débouchés de leur industrie ; quelque difficile que cela paraisse, il est à souhaiter qu'on obtienne le chiffre de 1 0/0 proposé par M. Sorel, car avec cette proportion on abaisserait le prix de l'hectolitre d'alcool dénaturé tout en élevant son pouvoir calorifique au kilogramme dans une mesure appréciable.

La *benzine lourde* type Régie est un produit dérivé des goudrons de houilles par distillation entre la température de 150° à 200° ; ce produit diffère essentiellement de la benzine pure qui bout à 80°,4 et dont la densité est de 0,88 à 15° ; c'est donc un produit complexe mal défini, et l'on s'accorde à dire qu'il serait préférable de restreindre les limites de sa distillation pour le tenir, par exemple en dessous de 160°, ce qui correspond à la benzine à détacher ou *Solvent Naphta.* En présence de certains corps la benzine s'oxyde et donne des acides oxalique, benzoïque, etc.

L'*alcool dénaturé* a des propriétés physiquement chimiques évidemment différentes de l'alcool éthylique à 100° ; il bout à 77°,5 (au lieu de 78°,4) ; sa densité est 0,832 à 15° ; sa vaporisation dégage plus de calories que l'alcool absolu (300 au lieu de 260) ; il marque 91°,5 à l'alcoomètre.

Si on évapore 100 cm^3 d'alcool dénaturé à 100°, on obtient un rendu de 0,104 *g* par litre ; à 250°, 0,063 *g* par litre. En brûlant à l'air libre, 100 cm^3 d'alcool dénaturé ont donné 0,03 *g* par litre. Ces résidus proviennent principalement de la benzine lourde et des produits pyroligneux du méthylène qui produisent des goudrons à la distillation.

Alcools carburés. — On a cherché depuis longtemps à augmenter le pouvoir calorifique de l'alcool en mélangeant celui-ci avec un corps riche en carbone ; longtemps la nature et la proportion des produits employés ont été tenues secrètes jusqu'au moment où, tout le monde étant dans le secret des « Carbureurs », on a trouvé plus simple de discuter cartes sur table.

Le produit employé à la carburation de l'alcool est en général le *benzol* ou *benzine de houille*, plus pure que la benzine type Régie définie ci-dessus.

La benzine C^6H^6 a la même composition atomique que l'acétylène, mais avec un groupement différent.

Elle se dissout dans l'alcool absolu en toutes proportions, mais, avec l'alcool dénaturé à 90°, on ne peut dissoudre pratiquement que 70 0/0 de benzine dans 30 0/0 d'alcool; la benzine demande par litre 9,8 à 5,9 *l* d'air selon qu'elle se transforme en CO^2 ou en CO et eau, ce qui indique qu'une bonne combustion exige une quantité d'air bien plus grande que l'alcool qui ne demande par litre que 5,9 *l* d'air au maximum pour une combustion complète.

Depuis peu, on est arrivé à sélectionner les mélanges et les dernières expériences faites portent sur des alcools carburés, dénommés par définition à 50 et 75 0/0, c'est-à-dire contenant le premier :

50 0/0 d'alcool dénaturé à 90°
et 50 0/0 de benzine;

Et le deuxième :

75 0/0 d'alcool dénaturé à 90°
et 25 0/0 de benzine.

En pratique, on ne peut employer la benzine chimiquement pure et l'on emploie des benzines impures dites à 50 ou à 75 de rectification qu'on extrait du goudron de gaz dans la proportion de 1 à 2 0/0; ces produits portent des noms différents selon les températures de distillation auxquelles ils sont obtenus, ce sont :

1° Les Benzols (1) dont le point d'ébullition est voisin de 82°; ils distillent complètement à 120° et de 50 à 90 parties à 100°;

2° Le toluène et le xylène passant 90 à 95 parties à 120°;

3° La benzine dissolvante distillant 90 parties à 160°, trouve son emploi dans les industries de nettoyage, teinture, peinture, etc. *(Solvent naphta)*;

4° La benzine lourde distillant de 150 à 190°, environ 80 parties.

La benzine la plus propre à la carburation de l'alcool serait évidemment le benzol rectifié si son prix était compatible avec son emploi; en tous cas, la quantité de benzine qu'on extrait et qu'on pourrait extraire du goudron de gaz est énorme et il ne semble pas qu'il y ait à craindre que l'emploi de l'alcool carburé élève sensiblement le prix de ce produit; au contraire, une

(1) Benzol est la dénommation de la Benzine de gaz en Allemagne, le mot de « Benzin » désignant l'essence de pétrole; d'où une confusion qui naît souvent de la similitude des deux termes.

augmentation de consommation produirait probablement ce qui s'est produit pour les pétroles : une amélioration de la qualité, sans élévation du prix.

Nous avons indiqué ci-après les principales qualités calorifiques des alcools carburés employés dans les moteurs; signalons toutefois que M. Müntz, membre de la Commission de l'emploi de l'alcool à l'éclairage qui a été nommée en 1898 par la Société nationale d'Agriculture de France, a fait des analyses et essais sur deux alcools carburés qui ont donné les chiffres suivants :

	C	H	O	Puissance calorifique au kilogramme.
Alkolumine. .	52,06	11,30	36,64	5 700
Leuchtspiritus.	60,96	12,03	27,01	7 000

Pétrole. — A côté des alcools dont nous venons de parler, il était intéressant de donner quelques chiffres relatifs à l'essence de pétrole et au pétrole rectifié employé dans les moteurs à explosion.

Les huiles de pétrole brutes d'Amérique abandonnent, à la distillation entre 75° et 120° de température, 18 0/0 environ d'un liquide de 0,700 de densité moyenne qui est l'essence de pétrole.

Les huiles brutes du Caucase n'en donnent qu'environ 5 0/0.

La composition moyenne des huiles brutes d'après les expériences de Sainte-Claire Deville est la suivante :

Carbone . . . . 879 parties.
Hydrogène . . . . 121 —

Le pétrole brut contient en outre 8 à 20 0/00 d'oxygène, qui disparaît à la rectification.

Le pouvoir calorifique, calculé par une moyenne d'un grand nombre d'expériences, est de 10 180 calories au kilogramme. Des expériences faites depuis quelque temps ont montré que le pétrole subissait une dissociation à partir de 350° environ, c'est ce qu'on appelle encore le point de « Cracking » d'après l'expression anglaise. On comprend que plus la température de cracking est proche de la température de distillation, plus l'emploi du combustible est difficile en pratique.

La distillation fractionnée de pétrole brut donne les résultats suivants :

A. *De 0° à 150°*, naphtes bruts ou essences de pétrole qui par le raffinage donnent :

De 0° à 30°, divers produits très inflammables;

De 30° à 90°, des éthers de pétrole et des gazolines ou essences pour moteurs ;

De 90° à 146°, des essences d'éclairage et benzines inflammables à 5°.

B. *De 150° à 270°*, KÉROSÈNES ou PÉTROLES LAMPANTS, dont on extrait 7 à 45 0/0 du volume primitif; par lavages et épurations physiques et chimiques, on obtient le pétrole raffiné inflammable de 45° à 65°.

C. *Au delà de 270°*, des résidus ou GOUDRONS 10 à 20 0/0 du volume primitif, dont on retire des huiles lourdes lubrifiantes, paraffines, vaselines, goudron et cokes de pétrole.

HUILES LOURDES DE GOUDRON. — Les huiles lourdes de goudron ont une densité de 1,007 à 15°; leur puissance calorifique est d'environ 9 000 calories au kilogramme; elles sont employées principalement dans des brûleurs sous les chaudières à vapeur.

Nous avons condensé dans le tableau ci-après les principales caractéristiques physiques et chimiques des alcools, des carburants, des pétroles, etc.

Faisons observer que les chiffres de puissance calorifique ont été empruntés en partie aux ouvrages de M. Witz et au travail que M. Lecomte a présenté en 1900 au Congrès de l'industrie du gaz; nous avons complété les renseignements des auteurs précédents en calculant les chiffres complémentaires notamment ceux relatifs aux alcools carburés soit par la formule ordinaire

$$P = 8080\,C + 29\,000\left(H - \frac{O}{8}\right)$$

dans laquelle C, H et O représentent les proportions centésimales du carbone de l'hydrogène et de l'oxygène soit par les formules de M. Redtenbacher qui ont été reconnues comme les plus approchées; ces formules sont les suivantes :

$$P = 7\,050\,C + 34\,500\,H$$
$$P' = 7\,050\,C + 34\,500\,H - 650\,\text{Eau},$$

suivant qu'il s'agit d'un carbure non oxygéné ou d'un carbure oxygéné. Comme il s'agit exclusivement ici de force motrice, nous avons calculé les puissances calorifiques en considérant les produits de la combustion comme étant à 100°; ce sera là évidemment un minimum pour la température des gaz d'échappement, quelques précautions qu'on ait prises dans l'établissement du moteur pour assurer une détente complète des gaz.

	FORMULES ATOMIQUES	COMPOSITION CHIMIQUE			TEMPÉRATURES		DENSITÉ à 15°	PUISSANCES CALORIFIQUES		PUISSANCES calorifiques constatées par expériences
		C	H	O	d'inflammation	d'ébullition		AU KILOG.	AU LITRE	
Alcool éthylique pur	C^2H^6O	522	130	348	»	78,4	0,795	6 427	5 109	7 042
— 95 0/0.	»	496	129	375	»	»	0,810	6 086	4 929	6 400
— 90 0/0.	»	470	128	402	+ 14	»	0,833	5 710	4 756	5 900
Alcool méthylique pur	CH^4O	375	125	500	»	66,5	0,814	4 451	3 623	5 500
— 90°.	»	338	124	538	»	»	0,820	3 956	3 243	5 400
Alcool dénaturé 90°	»	415	130	455	+ 18	77,5	0,834	5 111	4 262	5 870
Benzine de houille	C^6H^6	923	77	»	»	»	0,885	9 163	8 109	8 460
Toluène	C^7H^8	913	87	»	»	»	0,875	9 438	8 258	8 550
Xylène.	C^8H^{10}	906	94	»	»	»	0,865	9 630	8 329	8 580
Alcool carburé 50 0/0	»	670	103	227	0	»	0,860	7 145	6 144	»
— 75 0/0.	»	542	117	341	+ 3,5	»	0,845	6 159	5 204	»
Pétrole rectifié	»	880	120	»	+ 40	»	0,800	10 344	8 275	11 047
Essence de pétrole.	»	843	157	»	— 17	»	0,700	11 359	7 951	11 194
Huiles lourdes de goudron.	»	820	76	104	»	»	1,01	7 887	7 956	8 916
Gaz d'éclairage	»	568	216	86	»	»	1,40	11 200	au m^3 5 800	»

CHAPITRE III

Législation.

La consommation d'alcool dénaturé pour l'éclairage, le chauffage et la force motrice a augmenté en France et en Allemagne dans les proportions suivantes, qui résultent, du rapport rédigé en 1898 par M. A. Boisset, à la suite d'une mission officielle du Ministre des Finances.

	1877	1887	1897	AUGMENTATION 1887-1897
En France. . . . . . . *hl.*	18 626	36 341	82 124	45 785

Les dernières statistiques publiées par l'Association Centrale des Producteurs d'Alcool donnent des résultats assez curieux sur la consommation d'alcool en Allemagne, tant pour l'alcool de bouche que pour l'alcool dénaturé.

Nous avons réunis dans le tableau ci-après les principaux chiffres :

ANNÉES	PRODUCTION (millions de litres)				CONSOMMATION par HABITANT (litres)		
	totale	alcool de bouche	usages industriels	alcool dénaturé ordinaire	alcool de bouche	usages industriels	alcool dénaturé ordinaire
1888-89	272,7	217,4	43,1	17,6	4,5	0,9	0,37
1889-90	314,4	226,0	53,1	24,5	4,7	1,1	0,51
1890-91	296,9	216,0	51,9	21,3	4,4	1	0,47
1891-92	294,8	216,0	55,1	27,4	4,4	1,1	0,55
1892-93	302,9	221,2	60,7	31,5	4,5	1,2	0,62
1993-94	326,2	222,3	66,4	36,3	4,4	1,3	0,71
1894-95	295,1	218,2	71,9	41,4	4,3	1,4	0,81
1895-96	333,4	224,8	80,8	47,8	4,4	1,5	0,89
1896-97	310,0	224,4	86,7	52,8	4,3	1,6	0,97
1897-98	228,8	225,9	88,9	52,8	4,2	1,6	0,95
1898-99	382,4	241,5	99,2	61,0	4,5	1,8	1,10
1899-1900	363,7	237,9	104,7	65,0	4,5	1,9	1,18

Il y a lieu de remarquer dans ce tableau que la consommation d'alcool employé à la force motrice et aux autres usages de l'industrie a passé de 0,9 *l* à 1,9 *l* par habitant de 1889 à 1900, tandis que dans le même laps de temps la consommation d'alcool de bouche restait stationnaire.

L'augmentation énorme qu'on constate en Allemagne tient évidemment au développement des usages domestiques et industriels de l'alcool qui ont été facilités par divers moyens, et notamment par l'adoption d'un dénaturant commode et à bas prix.

En France, l'Administration des contributions indirectes a tenu, avec un soin jaloux, à prévenir toute fraude en employant une forte proportion de méthylène qui a l'inconvénient grave, pour le consommateur, de coûter cher et de gêner le fonctionnement des appareils qui utilisent ce combustible.

En Allemagne, c'est la peine sévère et impitoyable qui frappe le fraudeur qui en peu d'années a fait de cette profession une de celles les moins recherchées, et l'État, somme toute, n'y perd rien.

La dénaturation s'effectue actuellement en France de la façon suivante :

Dans un hectolitre d'alcool à 90° on ajoute :

10 *l* de méthylène à 90°.

0,5 *l* de benzine lourde.

produits dont nous avons indiqué les propriétés dans le chapitre précédent.

Il est, de plus, un produit fameux par les flots d encre et les torrents d'éloquence qu'il a fait couler, nous voulons parler du *vert malachite*. Ce dénaturant, indiqué par M. Bardy, a souvent été confondu avec la malachite, carbonate de cuivre hydraté qu'on trouve en minerais dans l'Oural. Le vert malachite est un produit tiré des goudrons comme l'aniline; on ajoutait 1 *g* de vert malachite par hectolitre, et cette proportion, quoique faible, gênait au possible pour tous les emplois industriels. Condamné dans le rapport Sorel, le vert malachite fut définitivement supprimé à la suite du concours Paris-Rouen qui démontra, avec une très grande évidence, les impedimenta pratiques qui résultaient de son emploi.

En Allemagne, la dénaturation se fait de la façon suivante :

Le produit dénaturant est composé de quatre parties de méthylène et de une partie de pyridine, base extraite du goudron de houille; on dénature en ajoutant 2 *l* 1/2 de ce produit par hectolitre d'alcool à 90°; on a ainsi par hectolitre :

2 *l* de méthylène ;
0,5 *l* de pyridine.

De plus, depuis novembre 1899, on a la faculté, si on carbure l'alcool avec 2 0/0 au moins de benzine, de n'employer que la moitié de la proportion ci-dessus, c'est-à-dire que par hectolitre d'alcool à 90° on ajoute :

1 *l* de méthylène ;
0,25 *l* de pyridine;
2 *l* de benzine (au minimum);

de la sorte on n'a dans l'alcool industriel que 1,25 0/0 de produits abaissant le pouvoir calorifique, ce qui est à peu près négligeable.

Actuellement, des recherches sont poursuivies en France par M. Trillat, pour proposer une base pyridique extraite des goudrons de gaz ou de coke, et l'on espère obtenir, en s'appuyant sur les conclusions du rapport Sorel, un dénaturant composé simplement de 1 0/0 de méthylène et de 1/2 0/0 du nouveau produit. On a proposé également un dénaturant composé de 1 0/0 de méthylène, 1 0/0 de benzine et 1 0/0 d'huile de suint passant à la distillation au-dessous de 100°, mais ce dénaturant semble avoir été abandonné; il en est de même des acétones supérieures utilisées dans divers pays étrangers et des huiles lourdes de pétrole proposées par quelques-uns.

Quoi qu'il en soit, il semble qu'en l'état actuel de la législation, la Régie trouve intérêt à conserver la proportion actuelle de méthylène qui lui donne toute sécurité au point de vue de la fraude. Il faut noter toutefois qu'un concours officiel est ouvert pour la recherche d'un dénaturant meilleur que le dénaturant actuel.

Droits sur l'alcool dénaturé. — Jusqu'à la loi du 16 décembre 1897, les droits de dénaturation s'élevaient en France à 37 / 50, ce qui, non compris les droits d'octroi pour la vente au

détail, portait le prix de l'alcool dénaturé à 1 *f* le litre : c'était évidemment prohibitif.

La loi du 16 décembre 1897, en réduisant ce droit à 3 *f*, a permis un premier essort, puis il a été lui-même réduit sur la proposition de M. J. Dansette, lors du vote du budget de 1901, à un droit de statistique de 0,25 *f*, cette diminution de taxe n'étant applicable qu'à partir du 1er janvier 1902; de plus, la Régie percevra un droit supplémentaire pour frais d'analyse fixé pour 1902 à 0,80 *f* par hectolitre d'alcool industriel, sans qu'on s'explique bien la raison de cette taxe.

Depuis 1901, les droits d'octroi sur l'alcool dénaturé ont été supprimés à peu près partout, et l'on évite ainsi à Paris pour les automobiles les fastidieux visas d'octroi indispensables avec l'essence de pétrole. Actuellement, le prix de revient de l'hectolitre d'alcool industriel peut s'établir ainsi qu'il suit :

Cours moyen des alcools 90°.	36 *f*	l'hectolitre.
— — mauvais goût.	35 *f*	—
— de la dénaturation (1).	9 *f*	—
Statistique et divers	1 *f*	—
Cours moyen des alcools dénaturés.	45 *f*	—

A partir du 1er janvier 1902, une prime de 9 *f* sera donnée aux alcools dénaturés, de sorte que le cours moyen des alcools dénaturés industriels ressortira à 36 *f* l'hectolitre; par conséquent, au prix de 36 *f* en gros correspondra un prix de détail de 0,45 *f* à 0,50 *f* le litre pour l'alcool pur; nous verrons que, même ce prix réduit demanderait à être abaissé encore pour la lutte industrielle.

A ce propos, il peut être intéressant de signaler le projet qui est dû à M. Léon Martin, et qui consisterait à réserver pour la consommation les alcools extra-fins de premier jet dont la production ne pourra dépasser 75 0/0 de la production totale et à obliger le producteur à dénaturer le reste; on élèverait ainsi le prix de l'alcool de bouche dans une proportion infime par rapport aux droits dont ce produit est grevé et l'on pourrait par contre abaisser le prix de l'alcool industriel à 20 ou 25 *f* l'hectolitre, tout en maintenant le cours moyen à un prix rémunérateur pour la culture et la distillation françaises.

(1) Le coût réel de la dénaturation résulte de la différence entre les cours moyens des alcools purs et du méthylène. Le prix de 9 *f* est un prix moyen qui est fixé législativement.

Du reste, il ne semble pas fort difficile d'arriver à ces prix, puisqu'en Allemagne, d'après les renseignements qui nous ont été transmis par l'Automobile Club d'Allemagne, l'alcool dénaturé est vendu par un syndicat de producteurs au prix de 0,21 mark, soit à peu près 0,26 *f* le litre pour les emplois industriels.

Nous devons donc souhaiter de voir étudier ces questions législatives le plus tôt possible, si l'on veut assurer l'essor de cette nouvelle branche d'iudustrie.

CHAPITRE IV

Appareils utilisés pour l'emploi de l'alcool comme force motrice.

La principale application de l'alcool comme force motrice a été faite dans les moteurs à explosion à quatre temps dont l'emploi est devenu depuis quelques années si important en employant, comme combustibles, les huiles lourdes, les pétroles lampants, les pétroles bruts ou raffinés, les essences ou benzines légères de pétrole, les éthers, etc.

On a essayé également d'employer l'alcool au chauffage de petites chaudières en certains cas particuliers, notamment aux colonies, mais cette application n'a eu jusqu'à présent aucun développement digne d'être mentionné.

Pour employer l'alcool par explosion, il faut deux appareils bien distincts :

Un générateur du mélange explosif, qui est le carburateur ;
Un transformateur d'énergie, qui est le moteur proprement dit.

Disons de suite que, si les carburateurs ont fait l'objet d'études spéciales en vue de l'emploi de l'alcool, on peut dire que, jusqu'à présent, en France, aucun moteur n'a été étudié en vue précisément de l'emploi spécial du mélange explosif d'air et de vapeur d'alcool.

Par conséquent, notre étude va comprendre surtout la description de quelques carburateurs, et nous nous contenterons d'exprimer des *desiderata* en vue de la construction des moteurs.

Les *carburateurs*, c'est-à-dire les appareils dans lesquels s'effectue la vaporisation de l'alcool, et son mélange avec l'air, rentrent dans plusieurs catégories.

On trouve, en effet, quatre sortes d'appareils :

1° Les carburateurs à barbotage ou à évaporation par surface (Pétréano, Delahaye, Henriod, Dupleix, etc.) ;

2° Les carburateurs à pulvérisation du liquide dans un courant d'air (Longuemare, Martha, de Dion-Bouton, etc.) ;

3° Les carburateurs à distribution dans lesquels la quantité de liquide est distribuée d'une façon dosimétrique (Gobron-Brillié, Villain) ;

4° Un constructeur de machines agricoles, M. Wallut, exposait au concours agricole de mai 1901 un de ses moteurs Hornsby, à pétrole lourd, dans lequel ce combustible avait été remplacé par de l'alcool ; la vaporisation de celui-ci et son mélange avec l'air se faisaient dans l'appareil vaporisateur usité pour le pétrole, qui sert en même temps à l'allumage du mélange explosif. Si ce système était sanctionné par la pratique, il aurait le grand avantage de permettre l'utilisation, avec l'alcool, des nombreux moteurs agricoles à pétrole qui sont usités actuellement en France.

La question du réchauffage des carburateurs est une des plus importantes de la question qui nous occupe ; pour éviter les inconvénients de l'alcool non gazéifié que nous avons indiqués au chapitre II, le réchauffage et même le réchauffage assez intensif semblent être de toute première nécessité. Ce réchauffage doit se faire à une température voisine de 100°, pour être sûr que le liquide est vaporisé ; mais il faut se garder, d'autre part, d'introduire un gaz trop chaud dans le cylindre, sous peine de voir les soupapes se corroder et le rendement diminuer par une modification de compression.

A ce sujet, il était intéressant de constater le fait suivant : Un constructeur dispose son carburateur à alcool convenablement, mais le tuyau d'amenée du gaz carburé est trop court et s'échauffe en passant trop près de la lampe d'allumage, la marche est médiocre ; on a l'idée de mettre un tuyau plus long contournant le cylindre en dehors de l'action de la lampe ; ce tuyau a pour effet de parfaire le brassage en rafraîchissant le mélange, immédiatement on constate une marche et un rendement meilleurs.

En ce qui concerne le réchauffage, nous avons classé les carburateurs suivant les trois catégories suivantes :

A. Réchauffage par conductibilité. — On emploie, en général,

la chaleur perdue des gaz de l'échappement, soit directement, soit par une dérivation : tels sont les carburateurs Pétréano et Martha qui peuvent employer la totalité de l'échappement, et tels sont aussi les carburateurs Longuemarre, de Dion-Bouton, Le Blon, G. Richard, qui sont disposés pour n'employer qu'une dérivation de l'échappement.

Dans le carburateur Duplex, on utilise par conductibilité la chaleur perdue de la lampe d'allumage ; il en est de même du système allemand Koerting : ce mode de réchauffage qui est des plus simples est, croyons-nous, appelé à être adopté de préférence dans les moteurs fixes de petites forces ; on peut également comprendre dans cette catégorie le vaporisateur Hornsby-Wallut.

B. Réchauffage par mélange d'air chaud. — Ce système, qui donne un réchauffage moins énergique, est déjà employé avec l'essence dans certains carburateurs à pulvérisation, mais il ne peut être appliqué pour l'alcool qu'avec des systèmes spéciaux ; c'est par ce système qu'on produit le réchauffage de l'alcool dans le carburateur Delahaye à barbotage, et c'est aussi le système qui est employé dans la distribution Gobron-Brillié pour happer au passage la goutte de liquide combustible qui vient d'être distribuée.

C. La troisième classe est celle où l'on ne réchauffe pas les carburateurs ; nous avons indiqué plus haut ce que nous pensions de cette manière de faire qui est encore utilisée par certains constructeurs ayant exposé au concours agricole. Signalons cependant que le carburateur Henriod, ou tout au moins celui de 1899, n'avait pas de réchauffage, mais il rachetait cette infériorité par un dispositif très étudié de brassage et d'évaporation.

Ces généralités exposées, nous allons passer en revue les carburateurs qui nous semblent les plus propres à l'emploi de l'alcool ; l'ordre adopté est, autant que possible, l'ordre chronologique.

Carburateur Pétréano.

On trouve de nombreuses descriptions du carburateur Pétréano dans plusieurs ouvrages, notamment dans le traité de M. A. Witz.

Rappelons que l'appareil se compose d'un cylindre au centre

duquel passe le tuyau d'échappement. Dans la partie annulaire, on introduit à la partie supérieure l'alcool par un petit ajutage à clapet et l'air par des fenêtres circulaires à ouverture variable ; l'alcool coule sur des surfaces coniques garnies, ainsi que le cylindre central, de toile d'amiante. Ces surfaces d'amiante sont tantôt ouvertes au sommet du cône, tantôt fermées, mais, dans ce cas, une série d'orifices disposés convenablement assure le passage ; il y a donc à la fois cascade, évaporation, léchage et brassage. A la partie inférieure se déposent les produits lourds qui n'ont pu se vaporiser et le mélange se rend par un long tuyau à la soupape d'admission.

Un inconvénient du carburateur Pétréano, type 1899, que nous venons de décrire, est la nécessité absolue où l'on est de régler à la main l'entrée de liquide et d'air à la partie supérieure du carburateur. Ce réglage est difficile ; pour remédier à cet inconvénient, M. Pétréano vient de faire breveter récemment un dispositif dans lequel les admissions de liquide et d'air se font automatiquement en raison de l'aspiration ; nul doute que ce soit là une grande amélioration au système dont le principe, du reste, semble excellent.

Carburateur Martha.

M. Martha a cherché à produire un brassage mécanique et un réchauffage simultanés. Son appareil est un petit cylindre horizontal en fonte au centre duquel passe le tuyau d'échappement ; dans la partie circulaire est disposée une cloison ou hélice formant vis d'Archimède *(fig. 1)*.

Sur le côté de l'appareil est disposé un réservoir à niveau constant qui amène l'alcool par un petit ajutage nickelé, en dessous d'un cône à gradins et d'un champignon sur lesquels vient se pulvériser le jet de liquide au milieu du courant d'air pur aspiré par le moteur. Un bouchon permet d'enlever le champignon de pulvérisation et l'ajutage inférieur pour les visiter.

Dans son trajet hélicoïdal autour du tuyau d'échappement, le gaz se brasse, se malaxe en s'échauffant, et nous avons constaté d'excellents résultats avec le carburateur Martha. On peut peut-être lui reprocher toutefois de ne pas répondre aux variations de puissance qu'exigent parfois les moteurs fixes destinés à fonctionner soit à pleine charge, soit à charge réduite. Appliqué sur des automobiles de différents systèmes dans Paris-Rouen et Paris-

Roubaix, notamment sur des de Diétrich, le carburateur Martha a fait ses preuves, tant avec l'alcool carburé qu'avec l'alcool pur; l'inventeur affirme même qu'avec son carburateur, les moteurs

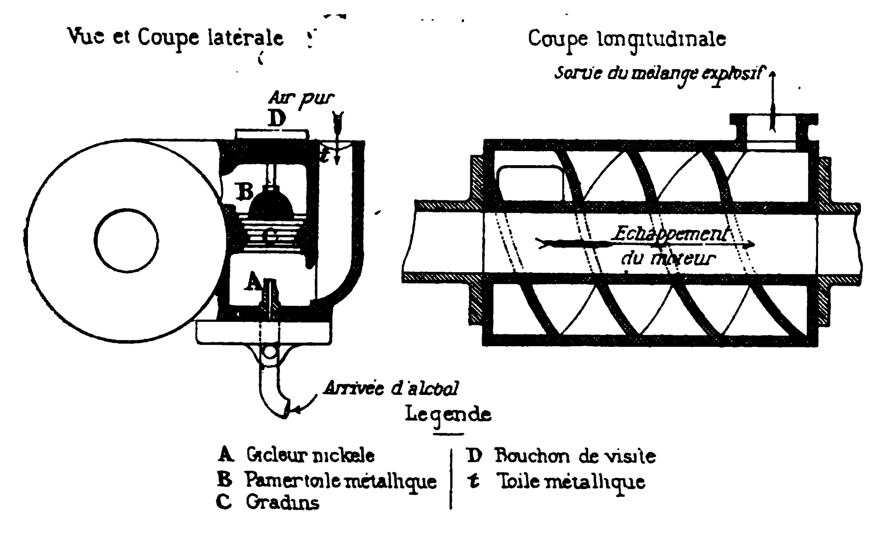


FIG. 1. — Carburateur Martha.

partent du premier coup à l'alcool pur et ceci sans réchauffage préalable tant le brassage est parfait.

Carburateur Le Blon.

Ainsi que le montre la figure 2, l'ajutage de pulvérisation ou tuyère se trouve à la partie centrale et le flotteur du niveau constant est disposé concentriquement; la soupape à boulet du réservoir est disposée dans l'axe au-dessus de l'arrivée d'alcool: ce dispositif permet de fixer le niveau d'essence quelle que soit l'inclinaison de l'appareil.

Le liquide est projeté par la tuyère centrale sur une petite batterie de *tubes diffuseurs* en cuivre qui reçoivent une dérivation de l'échappement; l'arrivée des gaz se fait par un tuyau central unique et le retour par six petits tuyaux qui forment jeu d'orgue autour du tuyau central.

L'air entre dans une cavité annulaire par des fenêtres disposées à la périphérie; il se réchauffe au contact d'un serpentin en cuivre qui reçoit, comme le précédent, une dérivation de l'échappement pour venir ensuite tout autour de la tuyère dans le tube

central où le mélange se fait intimement et à température convenable, autour des tuyaux diffuseurs.

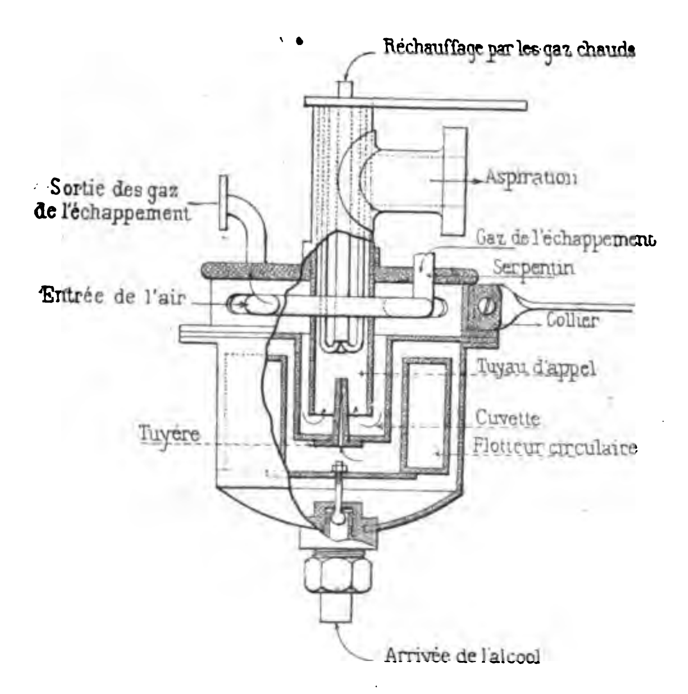


Fig. 2. — Carburateur Le Blon.

Ce carburateur a donné de bons résultats à l'alcool, notamment avec les moteurs Bardon, dont les dimensions, du reste, sont très favorables à l'emploi de l'alcool.

Carburateur Longuemare.

La maison Longuemare s'est fait une spécialité de la construction des carburateurs pour moteurs à explosion; pour la course de Paris-Roubaix, elle a créé un nouveau type d'appareil qui fonctionne à volonté, soit à l'essence, soit à l'alcool (*fig.* 3).

Le liquide arrive par la tubulure I dans un réservoir à niveau constant A; il se rend ensuite par le petit conduit horizontal dans le robinet à pointeau réglable qui se trouve au centre de l'appareil.

L'alcool projeté avec force au-dessous du bouchon Z, jaillit circulairement par une douzaine de petits orifices; il vient ensuite rencontrer perpendiculairement à sa direction un courant

d'air qui pénètre par la tubulure X. Lorsque les premières explosions se sont produites, on ouvre la clef de carburation dont la manette se trouve à la partie supérieure du carburateur, et cette manœuvre a pour effet de démasquer plus ou moins les orifices P; à ce moment, l'air pur pénètre par P, et l'air carburé pénètre par la pièce annulaire centrale; il y a mélange, brassage à travers le disque perforé O, puis, dans la chambre supérieure, circulation au milieu des ailettes rayonnantes *d;* il sort ainsi, en Y, un mélange d'air et de gaz carburé, homogène et de température convenable.

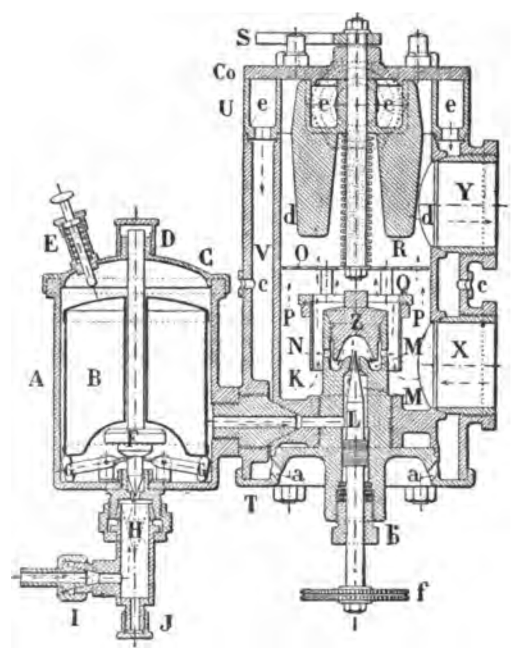


Fig. 3. — Carburateur Longuemare.

Les ailettes supérieures sont chauffées par conductibilité au moyen d'une circulation des gaz d'échappement qui se rendent ensuite dans la double enveloppe du corps même de l'appareil.

Pour employer l'essence, l'alcool carburé ou l'alcool pur, on règle la quantité de liquide injecté au moyen du pointeau inférieur, et l'on règle également par un robinet spécial la quantité de gaz d'échappement nécessaire au réchauffage du carburateur.

Lorsqu'on emploie l'alcool pur, il est nécessaire de faire un réchauffage préalable avant la mise en marche; pour cela, on découvre les petits orifices *c* par le déplacement d'une bague circulaire et l'on chauffe, au moyen d'un tampon d'alcool, la partie inférieure du carburateur; les gaz, pénétrant par *a* pour sortir par *c*, produisent un réchauffage suffisant pour la durée de la mise en marche qui est de deux à trois minutes seulement.

Carburateur Delahaye.

Le carburateur *(fig. 4)*, qui est celui que la maison Delahaye emploie avec l'essence, se compose d'un récipient cylindrique dans lequel le liquide est maintenu à niveau constant au moyen d'un petit réservoir annexe à flotteur. L'air, aspiré dans une gaine qui

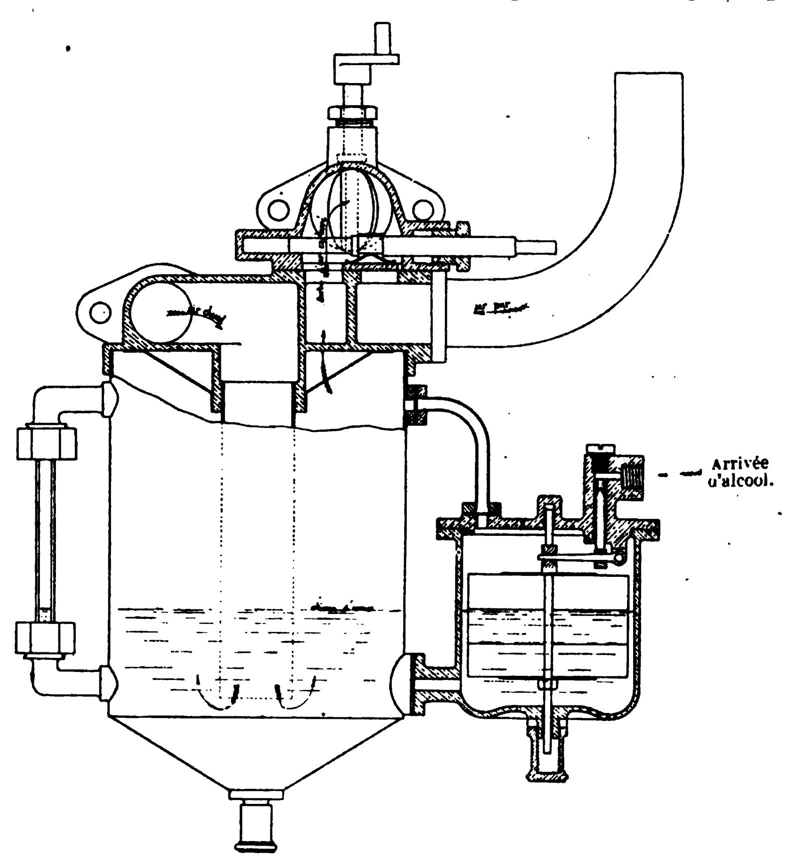


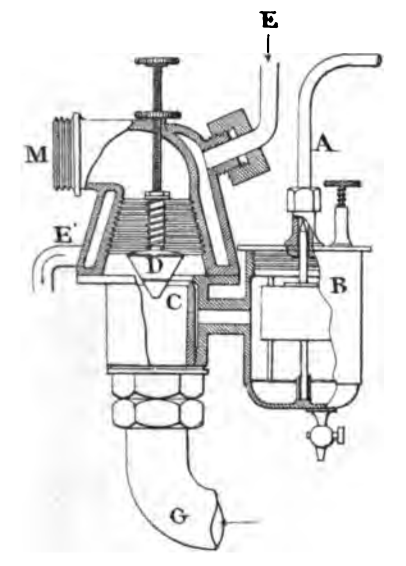
Fig. 4. — Carburateur Delahaye à barbottage.

passe sous le moteur, arrive par un tube central qui plonge dans le liquide; l'air, carburé traverse une tôle perforée, doublée en toile métallique et arrive au robinet de mélange à tiroir auquel aboutit également le tuyau d'arrivée d'air pur. La position du tiroir donne la proportion d'air et de gaz convenable et la quantité de mélange est réglée par un papillon dit « étrangleur » qui permet de faire varier le volume dans les cylindres et, par suite, la puissance du moteur.

Ce carburateur a donné de bons résultats, malgré que le réchauffage soit faible; nous avons donné ci-après les résultats d'essais au frein obtenus avec cet appareil en employant l'alcool carburé ou l'alcool pur.

Carburateur G. Richard.

La Société G. Richard a modifié ses carburateurs à essence en leur adjoignant une double enveloppe réchauffeuse en vue de l'emploi de l'alcool *(fig. 5)*. Dans la double enveloppe circule



Légende

A Arrivée d'alcool
B Réservoir à niveau constant
C Distributeurs capillaires
D Cône à réglage
EE' Dérivation de l'échappement
G Arrivée d'air chaud
M Sortie de mélange carburé

Fig. 5. — Carburateur G. Richard.

une dérivation du gaz de l'échappement. Le liquide maintenu à niveau constant par un petit réservoir à flotteur de liège, est projeté par trois orifices capillaires sur un cône central retenu par un ressort qui peut se soulever en cas d'aspiration forte du moteur; l'air légerement réchauffé par conductibilité, arrive par la tubulure inférieure et un cône à gradin aide au malaxage du mélange.

Un inconvénient, auquel il serait facile de remédier, est que les flotteurs en liège sont en général gommelaqués pour éviter leur imbibition par le liquide qui change leur ligne de flottaison; l'emploi de la gomme laque est contre-indiqué, naturellement, avec l'alcool. Il en est de même du ressort central, qui doit être nickelé pour éviter d'être corrodé par les gouttelettes du liquide.

Carburateur de la Société de Marienfelde.

On remarque, sur les figures 6 et 7, le réservoir d'alcool *(spi-*

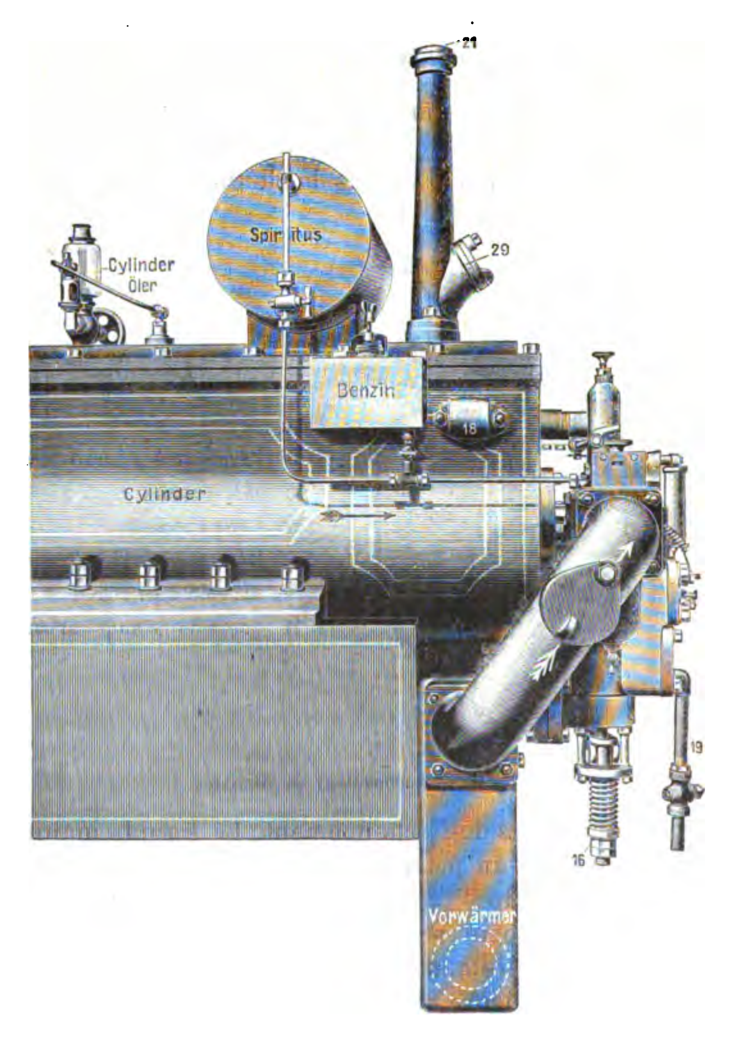


FIG. 6 — Moteur à alcool de la Société de Marienfelde.
Vue latérale de la culasse.

ritus) placé sur le moteur; un petit réservoir d'essence *(benzin)*, disposé sur la même canalisation, sert à la mise en marche.

L'air aspiré à la partie inférieure traverse un réchauffeur ou échangeur de températnre *(worwärmer)* recevant l'échappement;

l'alcool jaillit perpendiculairement au courant d'air par la soupape 3 au-dessous de laquelle une poche en fonte 6 munie d'un purgeur est destinée à recueillir les gouttelettes de liquide non vaporisées. L'admission variable par le régulateur se fait par la

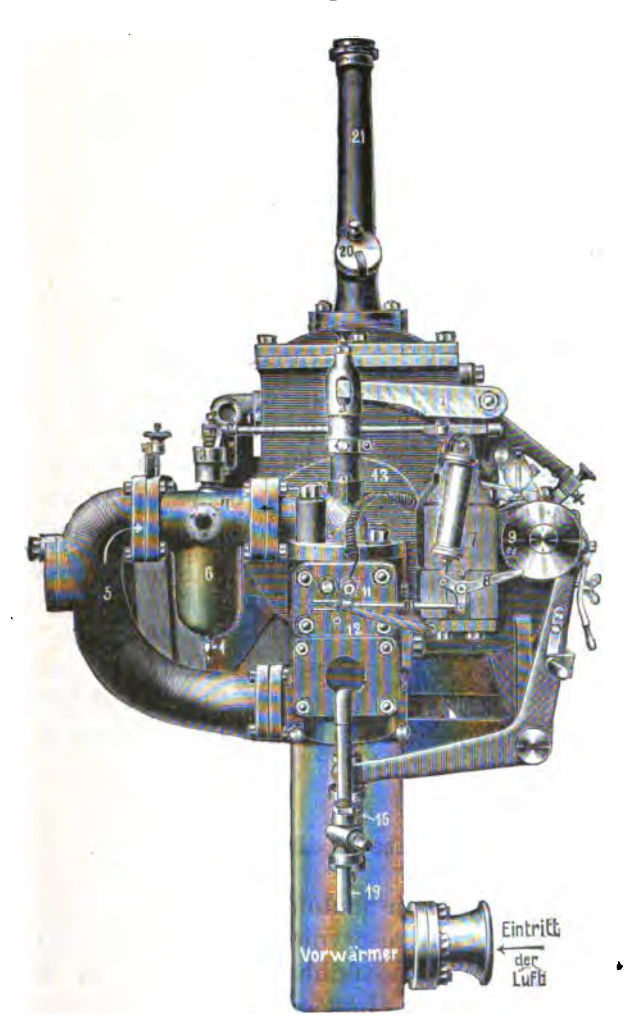


Fig. 7. — Moteur à alcool de la Société de Marienfelde.
Vue par l'arrière de la culasse.

soupape 13 qui est réchauffée par une dérivation spéciale de l'échappement pour être sûr de n'introduire aucune parcelle liquide; la proportion de mélange est, en marche normale, d'une partie de vapeur d'alcool et de sept parties d'air chaud, il

est comprimé à un cinquième de son volume primitif. L'allumage se fait par magneto, et le refroidissement est obtenu par ébullition de l'eau à l'air libre.

Carburateurs Koerting.

Le carburateur employé par la maison Koerting (*fig. 8*) dans ses moteurs fixes à alcool du type MA se compose d'un vaporisateur disposé sur le côté de la culasse du moteur; l'alcool arrive perpendiculairement à l'air, lequel passe dans une lanterne qui lui donne un certain mouvement giratoire; le liquide se vaporise dans le tourbillon produit. Le mélange se rend à la soupape d'aspiration par un tuyau autour duquel circule une gaine d'air chaud provenant de la lampe du tube à incandescence placé en dessous du carburateur. C'est un exemple de carburateur dans lequel le réchauffage se fait par une source de chaleur indépendante, le brûleur.

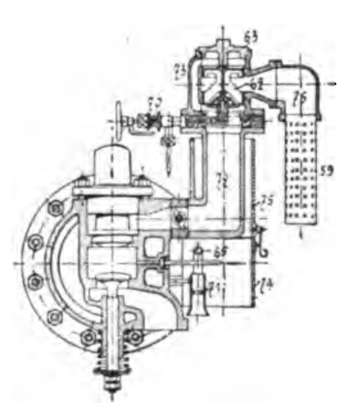


Fig. 8. — Carburateur et culasse du moteur Koerting.

Dans les moteurs de la classe M (allumage électrique par magneto), le carburateur est disposé dans un échangeur de température recevant les produits de l'échappement.

Carburateur de Dion-Bouton.

Le carburateur de Dion-Bouton est un carburateur à pulvérisation à jet central et à réservoir de niveau annulaire; l'alcool arrive par un gicleur de faible diamètre et est entouré d'une gaine d'air, le mélange se brise sur les parois mêmes du robinet de mélange; un deuxième robinet règle l'introduction de l'air.

A côté du carburateur, qui n'est muni d'aucun réchauffage, se trouve, sur les motocycles, une boîte de silencieux qui porte au-dessus d'elle la lanterne d'entrée d'air; au moyen d'un papillon qu'on manœuvre une fois pour toutes, on réchauffe plus ou moins l'air envoyé dans le carburateur.

Le carburateur du quadricycle qui a concouru dans Paris-Rou-

baix était de ce type : c'était un carburateur à essence dans lequel on avait simplement augmenté légèrement le diamètre de l'ajustage du gicleur ; celui-ci a pour l'esssence 0,85 *mm* ; on le porte pour l'alcool à 1,15 *mm*.

Carburateur Duplex.

La Société Duplex, qui a procédé à de nombreux essais sur l'alcool, a exposé, au concours agricole de Paris en 1901, un moteur muni d'un carburateur spécial à évaporation chauffé par la lampe du tube d'allumage ; l'alcool, dont le débit est réglé par un petit clapet automatique d'arrivée, coule sur deux plans inclinés chauffés par conductibilité, sur lesquels il ne peut faire autrement que de se réduire en vapeur avant d'être mélangé à l'air. Ce carburateur est tout à fait remarquable par ses dimensions des plus réduites et la simplicité de son adaptation aux moteurs existants ; il n'a pas encore eu, toutefois, la consécration d'une pratique de plusieurs mois.

Distributeur Gobron-Brillié.

Le carburateur distributeur des moteurs Gobron-Brillié (*fig. 9*) est un des plus curieux appareils utilisant l'alcool ; nous l'avons placé ici, car il rentre dans une catégorie spéciale dont le principe diffère essentiellement des carburateurs décrits précédemment. Cet appareil se compose d'un robinet conique à alvéoles, qui reçoit un mouvement saccadé par un levier et une roue à rochet. Les alvéoles se remplissent de liquide d'un côté et, de l'autre, viennent successivement se présenter en regard du point de convergence de deux conduits par lesquels un appel d'air provoque l'entraînement mécanique et la pulvérisation du liquide. Cette vapeur d'alcool vient se diluer dans le conduit d'aspiration, et le mélange arrive à la soupape d'admission.

Le cône du robinet distributeur est appuyé sur le boisseau par un ressort spécial ayant pour effet d'empêcher les fuites de liquide.

Le levier qui actionne le cliquet de la roue à rochets du boisseau à alcool reçoit son mouvement alternatif d'un excentrique monté sur l'arbre du moteur. Une masse équilibrée folle sur l'axe du levier de commande est sollicitée par un ressort à boudin, de telle sorte qu'un taquet vient, en marche normale, s'appliquer dans

une ouverture *ad hoc* du levier de commande qui reçoit son mouvement d'oscillation de deux bras placés en face l'un de l'autre.

Si la vitesse du moteur dépasse la normale, la masse se déplace, entraîne un culbuteur qui soulève l'un des bras, et arrête l'action du rochet.

Le ressort qui règle cette action de la masse est à tension variable ; une manette de réglage agit en même temps sur cette tension

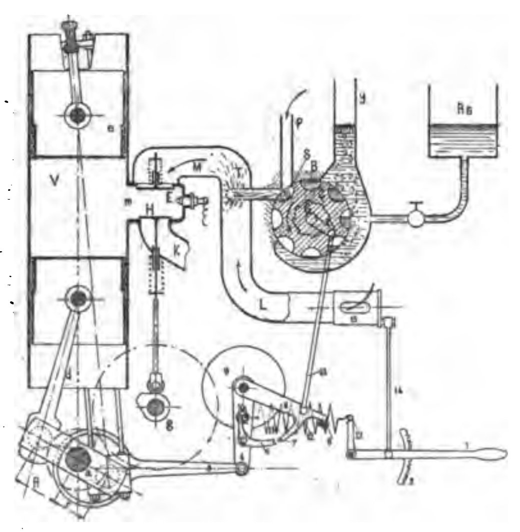


Fig. 9. — Schéma de la distribution Gobron et Brillié.

du ressort et sur une valve de prise d'air située à l'origine du tuyau d'aspiration qui a pour effet de produire la dépression suffisante à la succion du liquide dans les alvéoles.

Ce système de distributeur mécanique du liquide avec débit variable par le régulateur a reçu, par une pratique suffisante, la consécration de son efficacité et la délicatesse des mécanismes n'a pas été, comme on aurait pu le craindre pour les automobiles, une cause fréquente d'impédimenta.

Moteurs à alcool.

A côté des carburateurs, c'est-à-dire des appareils qui produisent le mélange explosif d'air et de vapeur d'alcool, il y aurait lieu de décrire les moteurs à alcool.

Malheureusement, il n'a pas été fait jusqu'à présent en France, à notre connaissance, de moteurs spéciaux à alcool; on s'est contenté d'utiliser les moteurs à gaz ou à pétrole existants.

Seules, quelques maisons allemandes ont un catalogue spécial de moteurs à alcool; seule, une d'elles, a exposé un moteur à alcool en 1900, à Vincennes.

On trouvera plus loin, à propos des essais sur moteurs fixes, la liste des moteurs qui fonctionnaient aux concours agricoles de 1901; les constructeurs français dont les moteurs sont utilisés avec l'alcool comme moteurs fixes sont les suivants: Barbier, Brouhot, Charon, de Dion-Bouton, Duplex, Delahaye, Gaillardet, Le Gnôme, Gobron-Brillié, Wallut, Otto, Société Vierzonnaise, etc.

On trouvera également, dans le chapitre V, le nom des constructeurs d'automobiles dont les voitures ont donné les consommations les plus faibles dans les concours de Paris-Rouen et Paris-Roubaix; ce sont MM. de Dion-Bouton, Société Nancéenne, Gobron-Brillié, Delahaye, de Diétrich-Martha, Panhard-Levassor, Gillet-Forest, Bardon, G. Richard, etc.

Enfin, dans le chapitre VI, nous avons discuté les conditions principales qui doivent guider, d'après nous, les constructeurs dans l'établissement de moteurs à alcool rationnels. Actuellement, on utilise les moteurs à gaz, à essence ou à pétrole lourd comme moteurs fixes à l'alcool; le gaz fourni par ce combustible étant moins riche que le gaz d'éclairage, il suffit d'agrandir les orifices d'admission pour assurer le fonctionnement; il en est de même à peu de chose près pour le pétrole lourd vaporisé.

Dans les moteurs d'automobiles qui emploient l'essence, on ne modifie rien du tout pour utiliser l'alcool carburé ou on modifie simplement le carburateur pour l'alcool pur; du reste, certains moteurs d'automobiles se sont trouvés, dès le premier essai, présenter des conditions favorables à l'emploi de l'alcool.

Ce ne sont pas là les vrais manières de procéder, et de même qu'on a dû construire des moteurs à gaz pauvre de haut fourneau spécialement en vue de cet emploi, de même il faudra absolument construire après études spéciales, des moteurs spéciaux pour l'alcool principalement pour les moteurs fixes.

CHAPITRE V

Expériences sur des moteurs fixes.

Les premiers essais de l'alcool comme moteur ont été faits en Allemagne en 1894.

En France, M. Pétréano a continué en 1897, sur un moteur

Otto, les essais qu'il avait entrepris à Berlin l'année précédente; il employait de l'alcool dénaturé ordinaire. Vers la même époque, en octobre 1897, avaient lieu les célèbres expériences de M. Ringelmann, complétées en octobre 1898 par celles de M. Lévy, de Douai; elles furent nettement défavorables à l'emploi du nouveau combustible, ainsi que nous l'avons indiqué en détail dans notre communication du 2 juin 1899 ; nous n'y reviendrons donc pas.

En 1899, la question fut reprise par M. Pétréano qui installa, et fit fonctionner pendant un mois, un moteur servant à l'éclairage de l'hôpital Pereire, à Levallois-Perret; on employa concurremment l'alcool ordinaire dénaturé et l'alcool carburé; les essais au frein auraient donné avec ce dernier plus de 7 *ch* au lieu de la puissance de 6 *ch* obtenue au gaz d'éclairage ; le prix de l'alcool empêcha cet essai de devenir définitif. Vers cette époque, la Société des Établissements Panhard et Levassor fit procéder à des essais au frein sur des moteurs Phœnix, et l'un d'eux, exécuté sur un moteur dit de 4 *ch* donna les chiffres suivants.

Puissance	avec l'alcool dénaturé à 90°	270 *kgm*
—	avec l'alcool carburé	315 —
—	avec l'essence	335 —

Depuis 1899 la Société Panhard-Levassor ne s'est pas désintéressée de la question, et elle règle ses moteurs aussi bien avec l'alcool qu'avec l'essence; pour cela, elle se contente d'augmenter un peu le réchauffage du liquide combustible de façon à assurer sa vaporisation complète.

M. Chauveau, directeur de la Société des Voiturettes L. Bollée, a fait, en décembre 1899, une série d'essais sur un moteur Durand, à carburateur Chauveau, de la force normale de 3 *ch*, dont les caractéristiques étaient :

Alésage	145 *mm*	Rapport : 1,98
Course	286 —	
Vitesse	160 tours à la minute.	

Nous donnons (*fig. 12*) les diagrammes comparatifs obtenus avec de l'essence à 700° (Stelline) et de l'alcooline Gutmann; ce produit était de l'alcool carburé à 50 0/0 dont la densité était d'environ 0,720. Dans les deux cas, on n'a rien changé au moteur et au carburateur, et le réglage est resté le même.

Peut-être aurait-on obtenu un meilleur résultat en faisant un

réglage approprié à l'alcool ; toutefois, les diagrammes montrent que l'explosion à l'alcool a été un peu plus faible qu'à l'essence et que les ordonnées moyennes sont à peu près identiques ; il convient de noter que, grâce à la course très longue du moteur, la courbe de détente a été plus régulière avec l'alcool qu'avec l'essence.

Au cours de l'année 1900, un seul fait est à signaler, c'est le fonctionnement, à l'annexe de Vincennes, d'un moteur de la maison allemande Koerting frères, qui actionnait directement une dynamo ; dans un essai fait le 14 août 1900 avec de l'alcool carburé à 75 0/0, des diagrammes (*fig. 12*) ont été relevés ainsi que les chiffres suivants :

Ampères.	44	Watts : 4840.
Volts	110	
Puissance du moteur	6,5 *ch*	effectifs.
Vitesse du moteur	232	tours à la minute.

Nous avons donné, au chapitre précédent, le dessin du carburateur employé. La consommation aurait été de 0,600 *l* par cheval-heure effectif.

Un concours de moteurs fixes à l'alcool, organisé par l'Union automobile, devait avoir lieu en janvier 1901 ; il a été reporté en octobre prochain, pour donner aux fabricants le temps d'étudier le problème.

En avril 1901, des expériences comparatives ont été faites par la maison Delahaye sur un moteur d'automobile placé sur le banc d'essai avec de l'essence et de l'alcool carburé Leprêtre ; les chiffres suivants ont été obtenus :

	Puissance au frein.	Consommation par cheval-heure.
A l'essence 700°	6,23 *ch*	0,486 *l*
A l'alcool carburé 50 0/0	6,29	0,562
— — 75 0/0	6,23	0,693
— dénaturé pur	6,32	0,910

Diverses expériences ont été faites et nombreuses reprises et, notamment, le 15 février 1901, sur des moteurs Gobron-Brillié, qui ont pour caractéristique une course très longue par suite de la disposition à deux pistons opposés, chassés par l'explosion centrale dans un même cylindre (*fig. 10*) ; dans l'une de ces

expériences on a fait ressortir les puissances comparatives avec l'essence et l'alcool aux diverses vitesses de régime sur deux

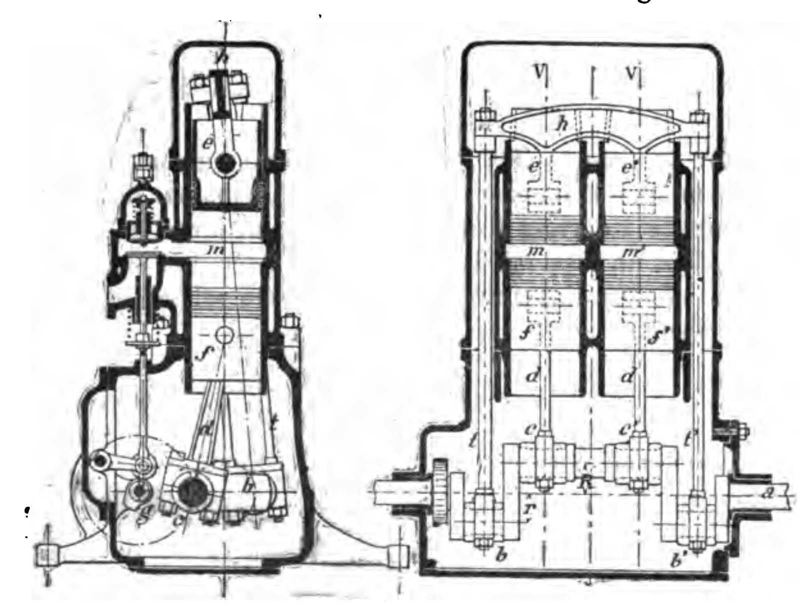


Fig. 10. — Moteur Gobron et Brillié (vues en coupes).

moteurs de force différente, qui avaient les caractéristiques suivantes :

			Rapport.
Moteur n° 532	Diamètre des cylindres . .	92 *mm*	1,85
	Course totale des pistons .	170 —	
	Force moyenne.	12 *ch*	
Moteur n° 39	Diamètre des cylindres . .	80 *mm*	1,75
	Course totale des pistons .	140 —	
	Force moyenne.	7 *ch*	

On a obtenu les chiffres suivants de puissance au frein relatés dans le tableau ci-dessous et le graphique *(fig. 11)* :

	Vitesse à la minute.	Moteur n° 532.	Moteur n° 39.
Alcool carburé	700 tours	9,7 *ch*	6,3 *ch*
	800	10,8	6,7
	900	»	7,5
	1 000	12,9	7,9
	1 100	12,9	8,0
	1 200	12,6	7,7

	Vitesse à la minute.	Moteur n° 532.	Moteur n° 39.
	—	—	—
Essence de pétrole	700	9,0	»
	800	10.1	5,9
	900	11,3	6,7
	1 000	12,4	7,4
	1 100	12,7	7,7
	1 200	12,6	7,3

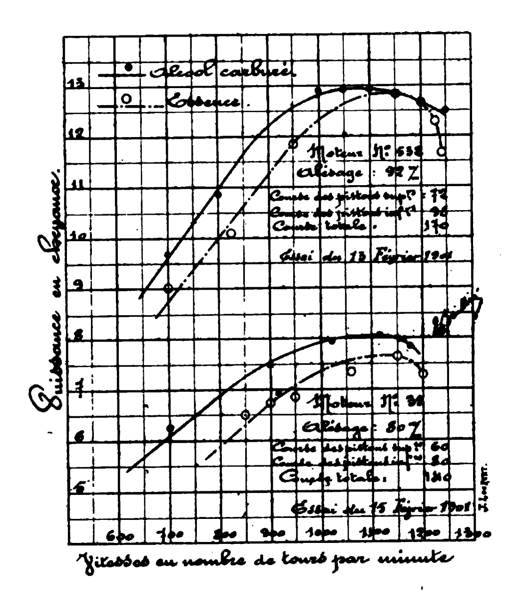


Fig. 11. — Courbes d'essais de moteurs Gobron-Brillié.

D'autre part, les chiffres obtenus avec un moteur Gobron-Brillié, à la Société des Agriculteurs de France, ont été les suivants :

		Rapport.
		—
Diamètre des cylindres.	80 *mm*	1,75
Course totale des pistons	140	
Vitesse de régime . . . tours à la minute.	1 200	
Compression.	4,75 *kg*	

	Puissance au frein.	Consommation par cheval-heure.
	—	—
A l'alcool dénaturé pur	7,33 *ch*	0,835 *l*
— carburé 50 0/0.	7,67	0,735
A l'essence à 680°.	7,32	0,677

Au concours agricole qui a eu lieu en mai 1901, 15 moteurs fonctionnant à l'alcool avaient été exposés au Champ-de-Mars. On trouvera dans le tableau ci-après les principaux chiffres relatifs à ces moteurs dont la plupart étaient en fonctionnement continu, savoir :

9 étaient en fonctionnement à vide ;

3 actionnaient des pompes, dynamos, etc.

Grâce à l'obligeance des constructeurs, nous avons pu procéder nous-même à une visite des soupapes ; nous avons constaté très peu d'encrassement, mais souvent un dépôt rougeâtre très fin et assez dur sur les soupapes d'échappement.

Dans le tableau ci-après, nous avons fait ressortir le rapport des courses au diamètre qui doit donner d'utiles indications dans la comparaison des résultats :

Des expériences très intéressantes ont été entreprises tout dernièrement sous la direction de notre collègue, M. Chauveau, par une grande Société qui vend actuellement des pétroles, des essences et des carburants de gaz, et qui a voulu se rendre compte par elle-même des valeurs pratiques et des prix de revient comparatifs des divers combustibles.

Malheureusement, les résultats de ces expériences ne peuvent pas encore être publiés.

Nous-même avons procédé à des essais au frein sur un petit moteur fixe du système Charon qui a les dimensions suivantes :

Alésage	115 *mm*	Rapport : 2,09
Course	240 —	
Vitesse de régime .	260 tours.	

Nous avons choisi le moteur de ce type pour trois raisons : parce que le rapport de l'alésage à la course est élevé, parce qu'il est facile d'obtenir une forte compression allant jusqu'à 6 *kg*, enfin parce que le système de remisage a pour but d'assurer un brassage énergique de mélange.

Nous avons employé successivement les carburateurs Longuemare et Martha, tous deux à réchauffement par les gaz d'échappement, et nous nous garderons de prôner l'un ou l'autre de ces appareils parce que les résultats obtenus ont été pour ainsi dire identiques. La moyenne des expériences nous a indiqué une puissance de 47 *kgm*, mais avec des consommations différentes suivant l'alcool employé ; ce résultat faible, puisque la

Moteurs à alcool. — Concours agricole de 1901.

NOMS DES CONSTRUCTEURS	DISPOSITIONS DU MOTEUR	CARACTÉRISTIQUES DU MOTEUR				RAPPORT Course / Alésage	ALLUMAGE	CARBURATEUR	ALCOOL EMPLOYÉ
		Force	Vitesse	Course	Alésage				
		ch	*t*	*mm*	*mm*				
Barbier	Vertical	2 1/2	280	200	125	1,60	Brûleur à essence	Martha	Leprêtre 50 0/0
Brouhot I.	Horizontal	1	250	200	120	1,64	Électrique	Pulvérisation ordin.	Leprêtre 50 0/0
Brouhot II.	Vertical	1 1/2	300	200	120	1,64	Électrique	id.	Leprêtre 50 0/0
Charon I	Horizontal	3	260	280	150	1,06	Électrique	Longuemare	Leprêtre 75 0/0
Charon II	Vertical	2 1/2	320	240	120	2 »	Brûleur vaporiseur	»	Leprêtre 75 0/0
De Dion et Bouton . .	Vertical	3	1 000	80	80	1 »	Électrique	Pulv^{on} (Tricycle)	Leprêtre 50 0/0
Duplex I	Horizontal	3	280	180	130	1,38	Brûleur à alcool	Martha	Leprêtre 50 0/0 / 75 0/0 / pur
Duplex II	Horizontal	1 1/2	280	160	120	1,33	Brûleur à alcool	Spécial chauffé	
Delahaye (2 cylindres). .	Horizontal	12	1 000	160	110	1,45	Électrique	Barbotage	Leprêtre pur
Gaillardet (2 cylindres) .	Vertical	16	1 050	120	120	1 »	Électrique	Double, à pulv.	Leprêtre 50 0/0
Gardner.	Horizontal	1	350	130	90	1,46	Électrique	Pulvérisation ordin.	Leprêtre 50 0/0
Gnôme	Vertical	5 1/2	300	190	190	1 »	Magnéto	Longuemare	Leprêtre 50 0/0
Hornsby-Wallut . . .	Horizontal	2 1/2	350	255	165	1,54	Brûleur vaporiseur	»	Leprêtre pur
Otto	Horizontal	7	260	»	»	»	Magnéto	Divers en essai	»
Société Vierzonnaise .	Horizontal	2 1/2	300	250	135	1,84	Brûleur à pétrole	Carburateur spécial	»

puissance n'était que les 47 0/0 de ce qu'elle est au gaz de ville, tient évidemment, à un défaut d'harmonie entre les orifices des carburateurs et des moteurs, défaut qui s'est manifesté surtout par une consommation importante.

Le moteur étant un moteur à gaz, le carburateur n'aurait dû être employé qu'à la fabrication d'un gaz d'alcool aussi riche que possible, le brassage avec l'air pour former le mélange explosif se faisant dans la capacité de remisage, c'est-à-dire indépendamment du carburateur générateur de gaz. Nous avons une préférence pour ce mode d'opérer, parce qu'il permet un dosage rigoureux de quantité de gaz et d'air et un mélange bien homogène.

La seule modification apportée au moteur a été l'agrandissement des orifices d'admission et du siège de la soupape de mélange dans la mesure du possible ; mais cette modification n'a pas été suffisante. Au surplus, nos expériences n'ont pas eu la prétention d'être faites pour résoudre les difficiles problèmes en cause, mais plutôt pour nous permettre de nous faire une opinion personnelle en nous rendant compte par nous-même des inconvénients pratiques de l'emploi de l'alcool que les alcoolistes intéressés à cette extension laissent parfois un peu trop sous silence. Ces expériences, pour lesquelles M. le professeur Witz a bien voulu nous guider de ses conseils, se continuent actuellement et si nous arrivons à déterminer avec exactitude certains chiffres intéressants, nous nous ferons un plaisir de les publier dans les chroniques du *Bulletin* de notre Société.

Expériences faites en Allemagne.

De très nombreux essais ont été faits, en Allemagne, sur des moteurs fixes ; nous n'indiquerons que les plus saillants.

Des expériences faites par M. Pétréano, au laboratoire du professeur Slaby, à Charlottenbourg près Berlin, en 1895-1896, ont donné les résultats suivants de consommation par cheval-heure effectif, avec un moteur de 5 *ch* :

Alcool à 90°,	540 *gr*.	0,675 *l*.	Rendement : 21,7 0/0.
Alcool à 80°,	620 *gr*.	0,775 *l*.	Rendement : 20,6 0/0.

Nous donnons plus loin trois diagrammes comparatifs obtenus le 28 avril 1896 par M. Pétréano (*fig. 12*), sur un moteur ayant les dimensions suivantes :

Alésage.	172 *mm*	Rapport : 1,99
Course	340 —	
Vitesse.	200 tours.	

L'essence employée était de l'essence rectifiée (benzin) de densité 0,690 ; l'alcool était de l'alcool dénaturé à 94°.

On remarquera que l'essence donne une explosion bien plus violente que l'alcool, puisqu'elle atteint 13 *atm* dans le premier cas et un peu plus de 10 *atm* dans le deuxième cas, mais l'ordonnée moyenne est un peu plus grande avec l'alcool ; l'extrémité droite de la courbe montre que l'avance à l'échappement était exagérée et ne laissait pas la détente se produire complètement.

Un troisième diagramme, indiqué en ponctué, donne le résultat obtenu avec un carburateur à essence défectueux, le mélange explosif est mal fait ; il y a une combustion incomplète, le résultat obtenu très inférieur.

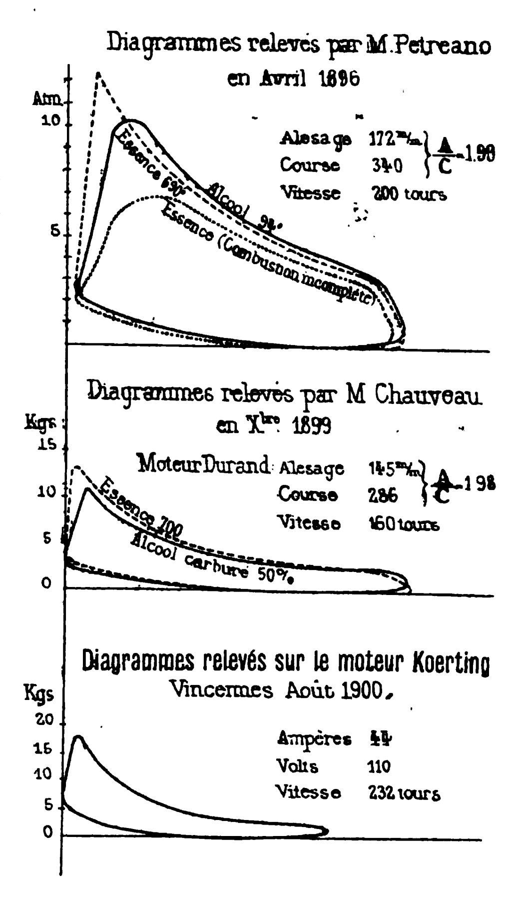


Fig. 12. — Quelques diagrammes de moteurs à alcool.

En 1897, les premières expériences faites par la maison *Koerting frères*, de Hanovre, sur un moteur de 6 *ch* ont donné une consommation de 0,625 *l* par cheval-heure, résultats qui ont été consignés dans le rapport du professeur Delbrück, de février 1898, à l'association des distillateurs allemands. Les appareils ont été depuis perfectionnés et mieux étudiés en vue de l'emploi de l'alcool et le professeur Goslich a obtenu sur le moteur Koerting, ins-

tallé à la Station centrale d'essai de l'industrie de l'alcool, une consommation de 420 *gr* (0,525 l) par cheval-heure, avec de l'alcool à 86°; avec de l'alcool carburé à 80 0/0 (c'est-à-dire contenant 1/5 de benzol), il aurait obtenu une puissance de 8,8 *ch* à 228 tours, avec une consommation de 370 *gr* (0,462 *l*) d'alcool par cheval-heure. C'est un résultat qu'il serait intéressant de constater en France.

Du reste, la maison Koerting est la première qui ait édité un catalogue spécial pour des moteurs à alcool : ce prospectus date de septembre 1900; il indique trois modèles : les types MA de 1 à 6 *ch*, qui fonctionnent de 350 à 300 tours avec brûleurs ou allumage électrique; les types M, de 8 à 20 *ch*, allumage électrique; enfin, les moteurs accouplés directement sur dynamo, avec allumage par magnéto, dont un spécimen fonctionnait à Paris; ce moteur a été vendu en France, comme moteur à gaz, après l'Exposition.

Un autre spécimen de moteur de 4 *ch* fonctionne au laboratoire électrique de l'École supérieure de Charlottenbourg, et sept moteurs ordinaires de 2, 4, 6, 8 et 10 *ch* ont été vendus à Berlin, en Poméranie, etc.

La *Société de Marienfelde* près Berlin exploite le système Altmann, qu'elle adapte soit sur les moteurs fixes, soit sur les locomobiles à alcool, depuis janvier 1901. Un catalogue, rédigé en français, indique les renseignements utiles et les prix de ces machines.

Les notices sur le système indiquent qu'on est arrivé à supprimer les deux inconvénients reconnus aux moteurs à alcool :

1° La rouille, qui se produit quand la vaporisation n'est pas parfaite;

2° La forte consommation.

Le liquide employé est composé par la Société de la façon suivante :

Alcool dénaturé à 90°	80 *l*
Eau.	10
Benzine de gaz.	20

La Société estime que l'adjonction d'eau est indispensable pour éviter les explosions intempestives par l'allumage prématuré quand le moteur est échauffé. Le prix de revient n'atteindrait pas 0,20 *f* par litre.

En ce qui concerne les consommations, la Société de Marien-

feld donne d'intéressantes références, desquelles nous extrayons les renseignements suivants :

Une locomobile à Buschtorf a donné une consommation de 0,40 *l* d'alcool pur par cheval et par heure. A Linderoln (Brandebourg), un moteur à alcool de 4 *ch* donnant au frein une force maxima de 5,5, le propriétaire signale que, malgré la mise en marche un peu difficile, il est très content du moteur. A Chlostratibor (Silésie), le propriétaire indique que le prix de revient de la locomobile à alcool est inférieur au prix des locomobiles à vapeur. Plusieurs attestations sont relatives à des batteuses vendues en Prusse ou en Poméranie, notamment des locomobiles de 12 à 25 *ch* consommant 5,8 par heure d'alcool carburé à 80 0/0 pour actionner une batteuse, etc.

Les essais effectués par la Commission des essais de machine de la Chambre d'agriculture pour la Saxe, le 10 septembre 1900, avec un moteur produisant 15,7 *ch* au frein, ont donné une consommation de 0,516 *l* d'alcool à 90°, soit un poids de 0,43 *kg* à 3/4 de charge; la dépense serait de 0,55 *l*.

Dans un tableau graphique, la Société donne les courbes de

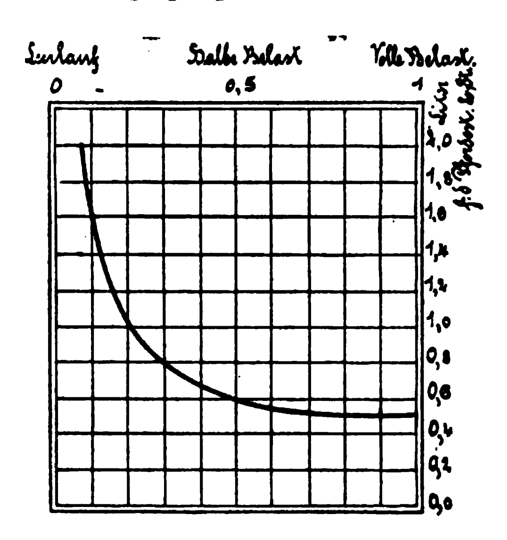


Fig. 13. — Courbe de consommation selon la charge.

consommation d'alcool à l'heure pour différentes forces, les consommations par cheval-heure pour différentes charges *(fig. 13)*,

un diagramme d'indicateur (*fig.* 14), etc.; ce diagramme montre que la pression à l'explosion atteint 32 1/2 *atm*, que l'ordonnée moyenne est de 6,15 *atm*; quant à la force effective du moteur, elle est de 29 *ch*, soit un effet utile de 77 0/0.

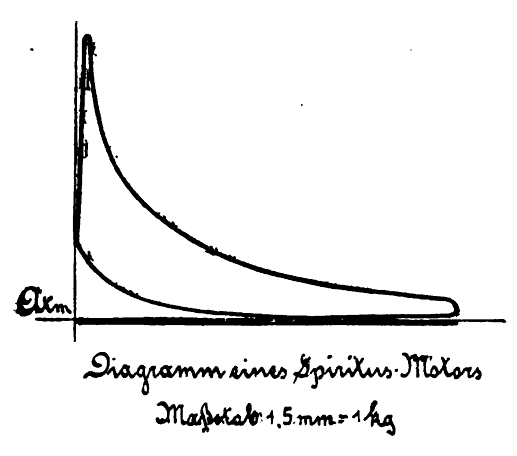


Fig. 14. — Diagramme de moteur à alcool allemand.

Telles sont les indications les plus intéressantes que nous ayons relevées dans les notices et brochures de la Société de Marienfelde.

La *Société des moteurs Otto*, à Deutz-Cologne, emploie l'alcool dans ses moteurs à essence, et il résulte des expériences qu'elle a faites que les consommations par cheval-heure sont les suivantes, suivant qu'on emploie des alcools plus ou moins carburés au benzol.

446 *g*	par cheval-heure	d'alcool	pur	à 86°,7;
442	—	—	carburé	à 90 0/0;
388	—	—	—	85 0/0;
375	—	—	—	80 0/0.

Les *ateliers d'Oberursel*, à Franckfort-sur-le-Mein, qui fabriquent les moteurs « Gnôme » vendent des moteurs à l'alcool qui emploient le liquide à 80 0/0; la consommation annoncée est d'un demi-litre environ par cheval-heure. Des prospectus spéciaux et prix courant sont établis, tant pour les moteurs que pour les locomobiles à alcool. Une soixantaine de moteurs (1) ont été livrés; de plus une locomotive à alcool fonctionne en Silésie pour une exploitation agricole.

Les *ateliers Swiderski*, à Leipsig, ont édité des catalogues spéciaux pour les moteurs, locomobiles, groupes électrogènes, pompes, etc., employant l'alcool à 80 0/0, consommation annoncée est de un demi-litre par cheval-heure; le moteur utilisé est en général vertical, du type Capitaine; on emploie, pour la forma-

(1) La liste de références indique 37 locomobiles dont la puissance varie de 2 à 15 *ch*, et 22 moteurs fixes de 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 et 20 chevaux.

tion de mélange, soit le vaporiseur à pétrole ordinaire, soit le carburateur français Longuemare.

La *firme Moritz Hille*, de Dresde Löbtau, fabrique des locomobiles à moteur horizontal à alcool de 2 à 16 *ch*; elle garantit, d'après les indications du professeur Fischer, de l'École polytechnique de Dresde, pour un moteur donnant 14 *ch* effectifs, une consommation à 450 *g* d'alcool à 90 0/0, allumage par magnéto.

Les *ateliers et fonderies Balduin Bechstein* d'Altenburg ont créé des types spéciaux de moteurs et de carburateurs à réchauffage en vue de l'emploi spécial de l'alcool pur.

La *Société des moteurs Dürr*, de Berlin, a un carburateur spécialement étudié pour l'alcool qui comporte un réchauffage et un brassage énergique de mélange; grâce à un dispositif très ingénieux, le même appareil sert indifféremment, soit pour le gaz d'éclairage, soit pour l'essence, soit pour l'alcool carburé ou pur; cette maison a même fait construire un omnibus automobile qui fonctionne à l'alcool.

En juin 1901, a eu lieu un important concours agricole, à Halle-sur-Saal, ville de 120 000 habitants, où fonctionnaient huit importants groupes de moteurs à alcool entourant l'exposition très intéressante de l'Association des Distillateurs allemands.

Nous donnons ci-dessous les noms exacts des Sociétés de construction qui ont exposé, en les classant par ordre d'importance.

Nous avons réuni dans un tableau tous les renseignements techniques sur ces moteurs, qui nous ont été rapportés d'Allemagne par MM. Maguin et Manaut, qui ont été délégués par le Gouvernement français à cette Exposition. Voici les noms exacts des Sociétés qui fabriquent les moteurs à alcool, en Allemagne :

1° Motorfahrzeug und Motorenfabrik Berlin Actiengesellschaft (Brevets Altmann), à Marienfelde, près Berlin;

2° Koerting frères, à Hanovre;

3° Motorenfabrik Oberursel Act.-Ges., à Francfort-sur-le-Mein;

4° Gasmotorenfabrik Deutz (procédés Otto), à Cologne;

5° Maschinenbau Act-Ges. worm. P. Swiderski, à Leipsig;

6° Moritz Hille Motorenfabrik, à Dresde Löbtau;

7° Balduin Bechstein Maschinenfabrik um Eisengiesserei, à Altenburg, S. A.;

8° Dürr Motoren Ges., à Berlin.

Moteurs fixes du concours de Halle (juin 1901).

NOMS	DISPOSITION du MOTEUR	FORCE NOMINALE	VITESSE par MINUTE	CAUSE	ALÉSAGE	RAPPORT $\frac{C}{A}$	COMPRES-SION	ALLUMAGE	CARBURATEUR	ALCOOL EMPLOYÉ	OBSERVATIONS
		ch	n. de tours	mm	mm		atm				
Marienfelde. . . .	Horiz.	13	200	350	280	1,25	12	Magnéto.	Pulvérisat.	75 0/0	Réchauffage
Koerting	Horiz.	6	270	»	»	»	»	Magnéto.	Pulvérisat.	Pur.	Réchauffage.
Otto-Deutz	Horiz.	12	250	»	»	»	»	Magnéto.	Pulvérisat.	Divers.	»
Oberursel	Vert.	10	250	»	»	»	5	Magnéto.	Pulvérisat.	Divers.	(Le Gnôme).
Swiderski	Vert.	8	250	»	»	»	»	Incandesc.	Longuem.	80 0/0	(Moteur Capitaine)
Moritz Hille . . .	Horiz.	10	200	340	240	1,40	16	Magnéto.	Pulvérisat.	90 0/0	»
Balduin Bechstein.	Horiz.	6	160	180	176	1,02	3	Magnéto.	Pulvérisat.	Pur.	»
Dürr.	Horiz.	2,7	540	150	110	1,36	5	Magnéto.	Brassage.	Pur.	Réchauffage.

Dans un rapport récent de M. Oelkers, nous trouvons les chiffres suivants de consommation et de prix de revient avec l'alcool carburé à 85 0/0, le pétrole à 800° et l'essence à 700°.

Combustible.	Consommation par cheval-heure.	Prix unitaires.	Prix par cheval-heure.
—	—	—	—
Alcool carburé . .	0,47	0,24 *f* le litre	0,11 *f*
Essence	0,35	0,46 *f* le kg.	0,16 *f*
Pétrole	0,40	0,31 *f* le kg.	0,12 *f*

M. Oelkers donne donc la préférence aux moteurs à alcool, car en Allemagne, les droits de douane de 7,5 0/0 frappent à l'entrée les pétroles, tandis que l'alcool est favorisé par tous les moyens possibles.

Le professeur W. Goslich a fait, dans le *Journal des Distillateurs allemands*, en 1900, une étude comparative de l'action du benzol dans les alcools carburés. Voici les chiffres qu'il a publiés :

ALCOOL EMPLOYÉ	MOTEURS		CONSOMMATION			ÉCONOMIE par RAPPORT à l'alcool pur
	NOMBRE de tours à la minute	CHEVAUX effectifs	PENDANT 20 minutes	par CHEVAL-HEURE	MOYENNES	
	t	*ch*	*g*	*kg*	*kg*	*0/0*
Pur 86°	225,0	8,809	1 229	0,420	0,420	»
Carburé 95 0/0	225,8 227,0	8,840 8,887	1 190 1 205	0,403 0,407	0,405	3,6
Id. 90 0/0	226,5 227,6	8,867 8,910	1 140 1 150	0,386 0,387	0,386	8
Id. 85 0/0	227,3 228,6	8,889 8,845	1 130 1 140	0,381 0,382	0,381	9
Id. 80 0/0	228,3 227,3	8,938 8,899	1 110 1 090	0,373 0,367	0,370	12
Id. 75 0/0	227,0 227,0	8,887 8,887	1 146 1 140	0,387 0,385	0,386	8
Id. 70 0/0	225,7 227,4	8,844 8,903	1 090 1 220	0,370 0,411	0,390	7

Il résulte donc des chiffres obtenus par le professeur Goslich que, pour une puissance effective sensiblement égale, la consommation la plus avantageuse est obtenue avec l'alcool combiné au benzol à 80 0/0 d'alcool; ceci ne corrobore pas les chiffres trouvés en France, mais il y a lieu cependant d'en tenir grand compte, étant données les conditions de compétence et d'exactitude dans lesquelles ces essais ont été pratiqués.

L'alcool à 80 0/0 donnerait une dépense 12 0/0 moins forte que l'alcool pur et cette économie serait maxima pour cette proportion de carburant, c'est-à-dire que la consommation s'élève quand la proportion de benzol augmente.

On peut indiquer enfin les chiffres de prix de revient comparatifs, qui ont été publiés en Allemagne sur les divers modes de production de mélange explosif dans les moteurs à explosion.

Par cheval-heure effectif.	10 *ch.*	20 *ch.*	30 *ch.*
—	—	—	—
Pétrole.	0,128 *f*	0,119 *f*	0,116 *f*
Gaz d'éclairage.	0,131	0,122	0,118
Gaz pauvre. . .	0,145	0,110	0,097
Essence	0,180	0,177	0,176
Alcool. . . .	0,202	0,194	0,190
Acétylène . . .	0,292	0,281	0,277

En Belgique, nous avons à signaler seulement que le professeur Leplae de l'Université de Louvain, a publié, dans la *Revue générale agronomique de Louvain*, des chiffres de prix de revient qui sont basés sur les chiffres de M. Oelkers.

Pour un moteur de 10 *ch* on a :

Alcool carburé à 85 0/0.	0,26 *f* le litre		0,123 *f* le ch.-h	
Essence à 700°.	0,30	—	0,105	—
Pétrole à 800°	0,18	—	0,075	—

Bien que ces chiffres aient été calculés en supposant les conditions les plus avantageuses du fisc belge, on arrive à un prix de revient supérieur avec l'alcool carburé aux prix de revient de l'essence et du pétrole.

CHAPITRE VI

Expériences sur des automobiles.

Les premières expériences ont été faites sur des moteurs fixes, parce qu'au moment où l'on a commencé à étudier la question, l'automobilisme n'existait pour ainsi dire pas; cependant, on peut dire que c'est l'automobile qui a donné un essor considérable à la question par les manifestations extérieures qui ont permis de montrer au public que l'alcool moteur n'était pas un mythe. Un des premiers essais d'automobiles à alcool fut fait par M. Pétréano, de juillet à octobre 1898, avec une petite voiture Benz de 4 *ch*, qui fonctionnait à l'alcool dénaturé ordinaire.

D'autre part, une expérience qui fit un certain bruit dans la presse spéciale, fut faite, le 11 janvier 1899, par M. Henriod, pilotant M. Pierre Giffard dans Paris, en employant de l'alcool à brûler acheté chez le premier épicier venu, sans trop d'inconvénients, ainsi que nous avons pu le constater nous-même.

En 1899, M. Martha exposa au concours agricole d'Amiens une voiture automobile, munie d'un moteur de son système avec carburateur attenant aux cylindres qui fut présentée à la Société des Agriculteurs de France quelques mois plus tard.

Enfin, trois épreuves automobiles importantes ont eu lieu successivement en 1899, 1900 et 1901.

A. — Premier Critérium de l'alcool.

En avril 1899, a eu lieu, sur l'initiative du journal *Le Vélo*, le premier Critérium de l'alcool ; 8 véhicules ont été engagés, notamment par Panhard-Levassor, G. Richard, Henriod, Briest-Armand, etc., mais un seul a osé affronter le mauvais temps qu'il faisait le jour de l'épreuve. MM. Guttin et Cie ont effectué avec une voiture Briest et Armand, de Villers-Cotterets, le parcours de Paris-Chantilly et retour, soit 136 *km* en 8 heures 8 minutes avec la consommation énorme de 38 *l* d'alcool à brûler d'épicier, soit près de 0,3 *l* par kilomètre.

B. — Concours Paris-Rouen.

En octobre 1900, a eu lieu le deuxième Critérium de l'alcool, organisé également par *Le Vélo* avec le concours du Moto-Club de France, sur le parcours Paris-Rouen (127 *km*).

Des commissaires étaient à bord de chaque voiture pour pré-

lever des échantillons de liquide, donner des indications sur la marche du véhicule et du moteur, remplir un tableau de renseignements, noter la cause des arrêt, etc.

62 véhicules ont été engagés sur lesquels 48 se sont présentés au départ le 28 octobre (Porte-Maillot); sur les 48 véhicules, 40 sont parvenus à Rouen dans les délais prescrits, soit 83 0/0.

Ils ont été classés en tenant compte : 1° de la consommation (1); 2° de la composition du liquide et 3° de la régularité de marche et du fonctionnement.

Nous donnons ci-après les résultats obtenus par les 10 premiers classés (page 73) :

En ce qui concerne la nature du carburant employé, elle a pu varier d'un concurrent à l'autre, mais les compositions chimiques n'ont pas été dévoilées; toutefois l'un des fournisseurs n'avait pas hésité à faire connaître, avant la course, qu'il employait la benzine de gaz dans des proportions variables parmi lesquelles celle de 40 0/0 d'alcool paraissait la plus avantageuse; ce produit préparé par M. Leprètre a nom l'*Électrine*. Un autre fabricant, M. Chalmel, dénommait son produit *Alkomoteur* : il contenait 40 à 50 0/0 d'alzool; on peut citer encore l'alcool Henriod, 55 0/0 d'alcool; l'alcool Domstein, Daniel Augé (70 0/0 d'alcool, 30 0/0 de benzol), etc., qui ont été utilisés dans d'assez bonnes conditions par des véhicules engagés dans Paris-Rouen.

C. — **Paris-Roubaix.**

Les 7 et 8 avril 1901 a eu lieu un concours sur le parcours Paris-Roubaix organisé par l'*Auto-Vélo* sous les règlements de l'Automobile-Club de France. Les concurrents pouvaient faire le parcours, soit en une seule étape (*279 km*), soit en deux étapes en s'arrêtant pour coucher à Amiens (*149 km*). Nous étions chargé du gîte d'étape à Amiens le 7 avril au soir.

Les véhicules étaient classés en sept catégories savoir :

A. Motocycles à deux places — 3 véhicules;
B. Voiturettes légères jusqu'à 250 *kg* — néant;
C. Voiturettes de 250 à 600 *kg* — 6 véhicules;
D. Voitures légères de 400 à 650 *kg* — 12 véhicules;
E. Voitures de 650 à 1 000 *kg* — 13 véhicules;
F. Grosses voitures, plus de 1 000 *kg* — 10 véhicules;
G. Véhicules industriels — 2 véhicules.

(1) Tonnes kilométriques par litre $= \frac{x \text{ tonne} \times 127 \text{ km}}{y \text{ litres}}$.

Concours Paris-Rouen (127 *km*).

CLASSEMENT	NOMS DES CONCURRENTS	CONSOMMATION			COMPOSITION		RÉGULARITÉ DE MARCHE	
		POIDS BRUT du véhicule	VOLUME de combustible employé	par TONNE kilométrique	ALCOOL 0/0	CARBURANT 0/0	TEMPS	VITESSE à l'heure
		t	*l*	*l*			h. m.	*km*
1	Bardon.	0,896	17,06	6,466	100	»	5 08	28,8
2	Gobron-Brillié.	1,259	26,46	6,043	100	»	3 12	40,0
3	Panhard-Levassor	1,280	17	9,562	53,5	46,5	2 50	55,0
4	Gobron-Brillié.	1,279	15	10,826	40	60	3 38	34,9
5	Battafellie (tricyle de Dion-Bouton).	0,305	6,25	6,198	100	»	4 06	31,0
6	Villain frères	0,746	14	6,770	76	24	4 32	28,0
7	De Dietrich	1,540	19,40	10,180	40	60	5 00	25,4
8	Gobron-Brillié.	1,289	16,80	9,744	42	58	3 22	37,9
9	Clément.	0,567	9	8,001	59,5	40,5	5 41	22,4
10	Gobron-Brillié.	1,434	19,55	9,316	42	58	3 55	32,4

Indépendamment des catégories, les véhicules étaient divisés en trois séries ; ceux qui employaient l'alcool dénaturé pur ; ceux qui employaient des alcools carburés contenant au moins 75 0/0 d'alcool ; enfin les véhicules usant des alcools carburés à 50 0/0. Aucun liquide n'était admis s'il ne contenait pas au moins 50 0/0 d'alcool. Du reste, les liquides approvisionnés d'avance et distribués par les organisateurs aux concurrents contenaient, à quelques centièmes près, exactement les proportions ci-dessus indiquées.

83 véhicules ont été engagés, parmi lesquels 54 se sont présentés au départ qui se faisait place de la Concorde ; 46 véhicules sont parvenus à Roubaix, dont 24 en deux étapes et 22 en une seule étape soit 85,2 0/0. Parmi les premiers figuraient un camion G. Richard portant 900 *kg* de charge utile et une voiture de livraison du système Bardon portant 300 *kg*.

Au point de vue de la répartition en séries, nous relevons parmi les véhicules classés :

6	véhicules fonctionnant à l'alcool pur ;				
8	—	—	—	carburé	75 0/0 ;
32	—	—	—	—	50 0/0.

Le classement a été fait par catégories et séries de la façon suivante, en se basant uniquement sur la consommation constatée.

Concours Paris-Roubaix (279 *km*).

CATÉGORIES	NOM DU CONCURRENT	SYSTÈME	ALCOOL EMPLOYÉ	CONSOMMATION A LA TONNE kilométrique
				l
A. Motocycles	Cormier	De Dion Bouton.	50 0/0	0,076
C. Voiturettes	Théodore	Darracq.	50 0/0	0,112
	Declercq	Renault.	75 0/0	0,156
D. Voitures légères	Megnin	Gillet-Forest.	50 0/0	0,112
	Cordonnier	N. Boyer.	75 0/0	0,172
	Pérez	Bégot et Cail.	pur	0,149
E. Voitures	Doyen	Delahaye.	50 0/0	0,092
	Dansette	Bardon.	pur	0,117
F. Grosses Voitures	Société Nancéenne	Gobron-Brillié.	50 0/0	0,089
	Le Saout	G. Richard.	75 0/0	0,135
G. Véhicules industriels	Letellier	G. Richard.	75 0/0	0,144
	Rost	Bardon.	pur	0,121

Nous avons réuni dans le tableau ci-après les résultats comparatifs de Paris-Rouen et de Paris-Roubaix, en ramenant les chiffres des premiers à la consommation par tonne kilométrique et en classant les liquides employés par série.

Consommations en litres par tonne kilométrique.

NOM DES CONCURRENTS	PARIS-ROUEN			PARIS-ROUBAIX		
	40 à 60 0/0	75 0/0	pur	50 0/0	75 0/0	pur
	litres	litres	litres	litres	litres	litres
Cormier, quadricycle de Dion-Bouton	»	»	»	0,076	»	»
Société Nancéenne Gobron-Brillié	»	»	»	0,089	»	»
Panhard-Levassor	»	»	»	0,091	»	»
Gobron-Brillié, nº 18	0,092	»	»	»	»	»
Delahaye, voiture	»	»	»	0,092	»	»
Delahaye, grosse voiture	»	»	»	0,098	»	»
Martha-de Diétrich	»	»	»	0,099	»	»
De Diétrich	0,102	»	»	»	»	»
Gobron-Brillié, nº 11	»	»	0,103	»	»	»
Panhard-Levassor-Martha	0,105	»	»	»	»	»
Gobron-Brillié, nº 2	0,107	»	»	»	»	»
Delahaye, grosse voiture	»	»	»	0,107	»	»
Delahaye	»	»	»	0,107	»	»
Panhard-Levassor	»	»	»	0,111	»	»
Gillet-Forest	»	»	»	0,112	»	»
Bardon, Le Blon	»	»	»	»	»	0,117
Bardon, Le Blon, véhicule industriel	»	»	»	»	»	0,121
Gobron-Brillié, nº 12	0,121	»	»	»	»	»
Henriod	0,121	»	»	»	»	»
G. Richard, Longuemare	»	»	»	»	0,135	»
G. Richard, véhicule industriel Longuemare	»	»	»	»	0,143	»
Villain	»	0,148	»	»	»	»
Bardon nº 20, Le Blon	»	»	0,155	»	»	»

Comme complément à ce tableau, il nous a semblé utile de donner les principales caractéristiques des moteurs employés dans les véhicules ci-dessus.

Il ressort du tableau des consommations à la tonne kilométrique, que les rendements à l'alcool carburé à 50 0/0 ont été les meilleurs ; l'alcool pur est venu ensuite et enfin, en troisième

Caractéristiques des moteurs d'automobiles à alcool.

CONSTRUCTEURS	NOMBRE de CYLINDRES	VITESSE de RÉGIME	PUISSANCE INDIQUÉE	COURSE	ALÉSAGE	RAPPORT $\frac{C}{A}$	NATURE DU CARBURATEUR
		t	ch	mm	mm		
De Dion-Bouton.	1	1 600	2 3/4	76	74	1,03	Pulvérisation, réchauffage par conductibilité.
Gobron-Brillié	2	900	9	170	92	1,85	Distributeur — mélange.
	2	900	7	140	80	1,75	— — —
Panhard-Levassor. . . .	2	750	6	130	90	1,44	Pulvérisation, air chaud.
	4	750	8	120	80	1,5	— —
	4	750	12	130	90	1,44	— —
Delahaye.	1	1 000	6	140	110	1,27	Barbotage, air chaud.
	2	1 000	10	160	100	1,60	— —
De Diétrich.	2	650	10	160	106	1,50	Carburateur Martha.
Gillet-Forest	1	800	5	140	120	1,16	— Le Blon.
Bardon.	1	1 000	7	200	90	2,2	— Le Blon.
G. Richard	1	800	4	100	95	1,05	Pulvérisation, réchauffage par conductibilité.

lieu, l'alcool carburé à 75 0/0 (75 0/0 d'alcool). Comme les tableaux donnés précédemment nous ont indiqué dans quelles proportions la puissance calorifique des différents liquides variait, on aurait pu croire que le rendement aurait varié comme les puissances calorifiques, d'une façon décroissante depuis l'alcool à 50 0/0 jusqu'à l'alcool pur; il n'en a rien été cependant, et un semblable résultat n'est pas sans dérouter un peu, parce qu'on ne peut pas expliquer ces différences par l'action de l'eau vaporisée; toutefois, on peut dire que la plupart des carburateurs ayant été utilisés avec l'alcool pur avaient été étudiés spécialement en vue de cet emploi; c'est pour cette raison qu'on a obtenu un meilleur rendement avec ce liquide qu'on utilisait mieux que le liquide à 75 0/0. Nous en trouvons, du reste, une confirmation dans la constatation que, dans les expériences de la maison Delahaye sur des moteurs fixes, la puissance obtenue avec l'alcool à 75 0/0 a été légèrement inférieure à celle qui a été obtenue avec l'alcool à 50 0/0 et avec l'alcool pur. Toutefois, il y a là un point que des expériences ultérieures permettront peut-être d'élucider plus complètement et sur lequel il règne une certaine obscurité.

A côté des concours d'automobiles dont nous venons de parler, un certain nombre d'essais isolés ont été faits par diverses personnes.

M. Henriod, qui a été l'un des premiers champions de l'alcool automobile, comme nous l'avons vu, a eu à plusieurs reprises l'occasion de procéder à des essais intéressants.

Au moment du concours des poids lourds de 1900, M. Henriod a fait contrôler par la Commission technique de l'Automobile-Club de France, divers essais comparatifs effectués sur la piste du lac Daumesnil les 11 et 12 octobre. L'alcool employé contenait 55 0/0 d'alcool et coûtait (à M. Henriod) 0,42 *f* le litre hors octroi.

Les chiffres obtenus ont été les suivants :

Tricycle : 1 *ch* 3/4. Poids en charge avec remorque 290 *kg*.

	Alcool.
Temps	41 m. 30 s.
Distance	20,7 *km*.
Consommation totale.	0,750 *l*.
— par tonne kilométrique.	0,124 *l*.

Voiture 8 *ch*, sans eau, système Henriod; poids en charge 1560 *kg* :

	Alcool.	Essence.
Temps.	40 m.	41 m. 30 s.
Distance	20,7 *km*	20,7 *km*
Vitesse kilométrique à l'heure.	31,05 *km*	29,9 *km*
Consommation totale	3,650 *l*	3,550 *l*
— par tonne kilométrique.	0,113 *l*	0,109 *l*

Deuxième essai. — Même voiture 8 *ch*. Poids en charge de 1730 *kg*. Charge utile 500 *g*.

	Alcool.	Essence.
Temps.	41 m.	42 m. 10 s.
Distance	20,7 *km*	20,7 *km*
Vitesse kilométrique à l'heure.	30,2 *km*	29,9 *km*
Consommation totale	4,0 *l*	3,750 *l*
— par tonne kilométrique.	0,111 *l*	0,104 *l*

La comparaison des chiffres ci-dessus peut être intéressante à faire avec le tableau précédent.

M. Zénon a fait, en octobre 1900, un essai de marche à l'alcool avec une voiture Gobron-Brillié de 9 *ch*; le trajet Paris-Mantes et retour, soit 106 *km*, a nécessité l'emploi de 20 *l* d'alcool carburé avec une vitesse moyenne de marche de 26,5 *km* à l'heure; M. Zénon a constaté une suppression presque complète des trépidations, les explosions étant moins brutales qu'à l'essence, et une diminution du bruit de l'échappement.

Un distillateur de Nesle, M. Rolland, a fait des expériences avec un motocycle moteur Aster sur un parcours de 42,5 *km*, dont les dimensions étaient les suivantes :

Alésage. . .	80 *mm*	Rapport 1,12
Course . . .	90 *mm*	

Les essais comparatifs ont été faits le même jour et la vitesse obtenue a été sensiblement la même; les chiffres obtenus par la consommation ont été les suivants :

Alcool.	1,700 *l*
Essence.	1,900 *l*

MM. Gobron et Brillié ont fait marcher un grand nombre de voitures de leur système avec l'alcool pur et l'alcool carburé.

Le quadricycle de Dion-Bouton que montait Cormier dans la course de Paris-Roubaix, qui était une machine ordinaire, moteur 2 3/4 *ch*, culasse à eau et débrayage modèle 1901, a été soumis, pendant cette course et subséquemment, à un essai de marche intensive; il a effectué ainsi un parcours de 1 100 *km* sans autre réparation qu'une visite de la bougie à Roubaix, dont les fils ont été avivés avec la pointe d'un couteau; nous avons assisté à l'ouverture des soupapes après ce parcours; nous avons constaté sur la soupape d'admission une épaisseur de 1 à 1 1/2 *mm* de coke dur très noir, mais aucune altération sensible de la surface d'occlusion; quant à la soupape d'échappement, elle était en parfait état, pas de rouille, presque pas de piqûres, aucune trace de chauffe. Nous avons comparé avec un tricycle du même type qui avait fonctionné à l'essence sur un parcours à peu près le même : la soupape d'admission était sensiblement dans le même état; quant à la soupape d'échappement, elle était piquée d'une façon plus sensible qu'avec le moteur à alcool. Notons enfin que le tricycle de Cormier n'a pas dépensé 2 *l* d'eau pour faire 1 100 *km*. C'est là une preuve qu'il n'y a pas eu d'échauffement anormal.

Nous avons voulu nous rendre compte également par nous-même des avantages et des inconvénients de l'alcool, et nous avons fait par Dammartin, Compiègne, Amiens et Beauvais un tour de 348 *km*, pour lequel la consommation a été de 32 *l* d'alcool Leprètre à 50 0/0; la voiturette G. Richard pesait 500 *kg* en charge et le carburateur avait été muni d'un serpentin réchauffeur en vue de l'emploi de l'alcool. Malgré un temps épouvantable, qui a pu en partie fausser les résultats, nous avons fait les observations suivantes :

1° Dans les conditions de marche où nous étions, la puissance a été légèrement inférieure à ce qu'elle aurait été avec l'essence, mais le moteur a fait preuve nettement d'une élasticité plus grande qu'avec l'essence;

2° La question du carburateur est capitale, car si on introduit un mélange gazeux non entièrement vaporisé, non homogène, il se produit des échauffements anormaux et une attaque des pièces métalliques en acier; il est notamment indispensable de n'avoir que des pièces de bronze ou de cuivre dans les carburateurs ou réservoirs en contact avec le liquide;

3° Avec l'alcool à 50 0/0 la consommation a été très sensiblement la même de ce qu'elle aurait été avec l'essence.

A propos du comice agricole de Soissons, qui a eu lieu le 7 juillet à Braisne, a été organisé un concours de consommation pour voitures automobiles fonctionnant exclusivement à l'alcool pur, c'est-à-dire sans addition d'aucun carburant.

L'itinéraire adopté comprenait 137 *km*, de Champigny à Braisne par Meaux, La Ferté-Milon et Soissons, et les voitures étaient classées par catégories de poids. De plus, une épreuve de 1 *km* en ligne directe a été organisée; elle était réservée aux voitures ayant accompli le parcours du concours de consommation; le concours a réuni 17 concurrents et parmi les voitures primées, il convient de citer les maisons Gobron-Brillié, Gillet-Forest, Villain frères pour les voitures; Darracq pour les voiturettes; de Dion-Bouton pour les motocycles. Nous avons réuni dans le tableau ci-après les renseignements les plus intéressants fournis par ce concours.

Ces expériences, ces essais et ces concours ont montré que l'emploi de l'alcool ne présentait pas de graves difficultés dans les automobiles. Toutefois, il faut se mettre en garde de dire, comme certains l'ont fait, que, avec les appareils actuels, l'emploi de l'alcool donne autant de facilité et d'aussi bons résultats qu'avec l'essence.

Quand on met de l'alcool carburé à 50 0/0 dans le réservoir dont on vient de vider l'essence, on met le moteur en marche, en général, du premier coup de manivelle; on part, on fait une promenade de quelques kilomètres, on déclare que cela va très bien, et, satisfait de ces expériences « concluantes », on utilise à nouveau l'essence, parce que l'on ne trouve pas encore des dépôts d'alcool comme on trouve des dépôts d'essence.

Ces expériences ne signifient rien, car il faut les prolonger pendant plusieurs jours, pendant de nombreux kilomètres, pour juger d'un résultat. Nous allons essayer dans le chapitre suivant d'indiquer les avantages et les inconvénients de l'alcool moteur, tant au point de vue du rendement qu'au point de vue du fonctionnement pratique.

L'utilisation de l'alcool dans les automobiles offre un très grand intérêt pour l'agriculture française, parce que la consommation est importante; en admettant qu'on consomme 50 à 60 000 *hl* d'essence par an dans les voitures, on voit qu'on doublerait presque la production de l'alcool dénaturé en France par l'adoption du combustible national dans les moteurs d'automobiles.

Concours Paris-Braisne *(alcool pur)*.

	POIDS DU VÉHICULE en charge	PARCOURS : 137 *km*		CONSOMMATION		CONCOURS DU KILOMÈTRE	
		TEMPS	VITESSE à l'heure	TOTALE	par TONNE KILOM.	TEMPS	VITESSE à l'heure
	kg	h. m.	*km*	*l*	*l*	m. s.	*km*
Tricycle de Dion-Bouton	220	6 7	22,4	5 »	0,166	1 7 2	52,6
Voiturette Darracq	553	5 2	27,2	19,8	0,261	1 10	51,4
Voiture légère Darracq	650	4 43	29,0	11,4	0,131	1 11	50,7
— Gobron nº 1	738	5 5	26,9	25 »	0,251	1 13	49,6
Voiture Villain nº 8	872	5 36	24,5	15,7	0,131	1 41	35,6
— Gillet-Forest	790	6 30	21,1	17 »	0,158	1 35	37,9
— Villain nº 7	852	5 12	26,3	19 »	0,163	1 35	37,9
— Gobron nº 15	990	8 20	— (1)	26,7	0,196	—	—
— Gobron nº 14	1 350	6 17	21,8	41 »	0,222	1 13	49,6

(1) Erreur d'itinéraire.

CHAPITRE VII

Avantages et inconvénients de l'alcool moteur.

On a beaucoup discuté sur les avantages et les inconvénients de l'alcool comme moteur et l'on peut dire que de ces discussions n'a pas encore jailli la lumière éclatante ; il nous a toujours semblé qu'il y ait eu un certain parti pris de part et d'autre.

Les détracteurs de l'alcool disent : Si l'on compare les puissances calorifiques de l'alcool dénaturé et de l'essence, on voit qu'il faut 1,8 fois plus d'essence que d'alcool pour produire un même travail; or, puisque l'alcool coûte plus cher que l'essence, et qu'on en emploie davantage, le prix de revient est prohibitif.

Certains même ajoutent : L'oxygène de l'alcool forme de l'eau qui, s'ajoutant aux 10 0/0 d'eau de l'alcool à 90°, absorbe, par sa vaporisation, une bonne partie des calories dégagées par la combustion, d'où gaspillage de chaleur ; de plus, en présence de la faible quantité d'oxygène, il y a combustion incomplète et, par suite, perte de puissance par les gaz non brûlés.

Les « alcoolistes », au contraire, n'hésitent pas à dire que la gazéification de l'alcool est plus complète que celle de l'essence et que le rendement est supérieur avec les moteurs à alcool à celui qu'on obtient dans n'importe quel autre moteur. On a même été jusqu'à dire et imprimer dans les journaux agricoles que l'alcool donnait sur le pétrole une économie de 20 0/0 en France et de 40 0/0 en Belgique, Allemagne, etc., où l'alcool est à meilleur marché.

Il est relativement facile de répondre aux uns et aux autres, et à ce sujet, M. Chauveau a publié dans la revue *Le Chauffeur* une série d'articles du plus haut intérêt auxquel on pourrait se reporter utilement.

S'il est exact de dire que théoriquement la consommation d'alcool à puissance égale est 1,8 fois plus grande que la consommation d'essence, les expériences ont montré qu'il n'en était pas du tout de même dans la pratique. Les essais faits sous la direction de M. Loreau notamment, ont confirmé que la présence de l'eau, loin d'être une cause d'infériorité, a pour résultat d'augmenter l'élasticité, et par suite le rendement du moteur. En ce qui concerne la proportionnalité de consommation, il ressort des chiffres moyens obtenus, que la consommation de

l'alcool pur n'est, à puissance égale, que 1,25 fois plus grande que l'essence.

On objectera que d'autres expérimentateurs ont trouvé des résultats bien moins favorables, notamment MM. Ringelmann et Levy, dont les essais pratiques ont confirmé le rapport théorique de 1,8; nous allons rechercher les causes de ces discordances dans les résultats obtenus.

Pour faire rendre à l'alcool tout ce qu'il peut rendre, il faut deux conditions primordiales : 1° envoyer dans le moteur un mélange explosif, de composition, d'homogénéité convenables, et de température appropriée, d'où la nécessité d'un carburateur spécialement étudié pour l'alcool; 2° utiliser un moteur dont les dimensions sont favorables au mélange explosif employé.

C'est cette harmonie de proportions et de dimensions qui fait que les essais sont bons ou sont mauvais, et il est hors de doute que les conditions des essais de 1897, visés ci-dessus, étaient très différentes de ce que les expériences subséquentes ont montré comme une bonne pratique.

Sur le premier point, il ressort de l'étude que nous avons faite au chapitre précédent que le carburateur doit, pour produire une utilisation convenable de la puissance calorifique de l'alcool, remplir les conditions suivantes :

1° Vaporisation complète préalable de l'alcool pour empêcher toute particule liquide d'être introduite dans le moteur;

2° Dilution de la vapeur d'alcool dans une quantité d'air convenable, plus considérable que lorsqu'on emploie l'essence ;

3° Brassage intime de la vapeur d'alcool et de l'air, pour produire un mélange explosif bien homogène.

C'est pourquoi nous avons vu les inventeurs qui se sont occupés sérieusement de ces études produire un réchauffement intensif au moyen de l'échappement, ou encore au moyen des chaleurs perdues du brûleur d'allumage, quand ce mode d'inflammation est employé. Mais bientôt une autre difficulté a surgi : si on envoie un mélange trop chaud, les conditions de compression se trouvent modifiées et nous verrons qu'il est indispensable d'avoir une forte compression avec l'alcool; de plus, la lubrification ne se fait plus, et il peut même y avoir des phénomènes de dissociation qui diminuent d'autant le rendement.

Par conséquent, il faut prendre des dispositifs tels, que le mélange carburé arrive au moteur à une température voisine de 100°, pour avoir une marge suffisante entre la température d'éva-

poration du liquide moteur (qu'il faut éviter de condenser après l'avoir évaporé) et la température de dissociation.

Pour cette carburation, est-ce le carburateur à pulvérisation et à chicanes successives, est-ce le carburateur à barbotage, ou celui à simple évaporation en cascades qu'il faut recommander? C'est la pratique seule de plusieurs mois d'essais qui répondra. Qu'il nous suffise de signaler que de bons résultats ont été obtenus avec les appareils que nous avons décrits dans notre chapitre IV, qui remplissent, pour la plupart, les conditions de réchauffage et de brassage indispensables pour obtenir un mélange gazeux homogène. Les constructeurs allemands ont une tendance à solidariser le carburateur et le cylindre du moteur pour faciliter le réchauffage.

Quant au moteur proprement dit, sans vouloir entrer dans le détail de la théorie des moteurs à explosion, il ressort de l'étude que nous venons de faire et de toutes celles qui nous ont précédé que le moteur à alcool a une marche très douce, très moelleuse, plus silencieuse que celle des autres moteurs à explosion; mais, pour utiliser ce combustible dans de bonnes conditions, le moteur doit présenter deux caractéristiques principales : course longue et compression forte :

1° *Une course longue*, c'est-à-dire que le rapport entre l'alésage et la course doit être plus élevé qu'avec les moteurs à gaz ou à pétrole ordinaires. Pour l'essence, certains constructeurs ont préconisé les moteurs carrés, c'est-à-dire dans lesquels les deux dimensions sont les mêmes, et par suite le rapport égal à 1; ce rapport ne nous semble pas devoir convenir pour l'alcool même carburé à 50 0/0.

En effet, les meilleurs résultats économiques ont été obtenus, dans les moteurs qui, par leur conception même en général, ont une course allongée et un rapport élevé. Dans le moteur Gobron-Brillié, comme dans le moteur Bardon, les deux pistons se meuvent dans un même cylindre, vertical dans le premier, horizontal dans le second, l'explosion se faisant au centre, de façon à chasser les pistons à l'opposé l'un de l'autre. Les dimensions de ces moteurs, que nous avons indiquées dans les tableaux du chapitre V, montrent que le rapport de la course à l'alésage varie de 1,75 à 2,2, et ces moteurs ont montré nettement, à plusieurs reprises, que leur rendement à l'alcool pur était supérieur au rendement des autres systèmes;

2° *Compression forte.* — La loi qui dit que dans un moteur à gaz la compression doit varier en raison inverse de la puissance calorifique du combustible s'applique évidemment aux moteurs à alcool. Dans quelles proportions doit-on augmenter la compression ? c'est ce qu'il serait prématuré de dire actuellement, car les données qu'on possède sont excessivement vagues, même pour les moteurs déjà bien connus, à plus forte raison quand on emploie l'alcool qui possède des propriétés tout autres que les hydrocarbures ordinairement utilisés. On a indiqué également que les modifications de compression auraient pour résultat de diminuer l'importance des pertes par refroidissement du cylindre, en abaissant la température de combustion, mais cette question doit à notre avis être encore réservée (1). En tous cas, les moteurs ayant une came spéciale agissant sur le mélange permettent d'obtenir la compression que l'on veut, et c'est là une condition favorable à l'emploi de l'alcool.

Nous estimons qu'il serait téméraire, actuellement, de vouloir se prononcer, et nous souhaitons que des expériences répétées viennent éclairer cette délicate question. En ce qui concerne l'allumage, il y a lieu, comme pour tous les mélanges pauvres, de ne pas le négliger ; l'allumage par magnéto pour les forces au-dessus de 5 *ch* et l'allumage par brûleurs pour les petits moteurs semblent devoir être préconisés.

On a signalé des encrassages, des échauffements, des grippages, dans les moteurs à alcool, mais la faute en est surtout à ce que la plupart des carburateurs et des moteurs à essence qu'on utilise ne sont pas aussi propres à l'utilisation de l'alcool qu'à l'emploi de l'essence. On laisse ainsi à l'état de liberté un certain nombre de calories qui produisent les inconvénients signalés.

De plus, de nombreux phénomènes annexes viennent modifier les conditions du fonctionnement, sans qu'un inconvénient grave s'en suive et, par suite, se révèle immédiatement. Il arrive donc parfois que l'on marche à l'alcool dans des conditions déplorables, en reportant sur le liquide moteur le total des imprécations dont il n'est pas responsable ; du reste, pareille chose arrive souvent avec les moteurs à pétrole lampant, bien que l'étude de ces moteurs ait été poussée bien plus loin que celle des moteurs à l'alcool.

(1) Voir Procès-verbal de la séance du 5 juillet, pages 10 et suivantes, Opinions exprimées par MM. Armengaud jeune, Lecomte et Chauveau.

I. — Parmi ces phénomènes annexes, il y a lieu de mentionner la lubrification qui est toute différente avec l'alcool qu'avec l'essence; l'alcool, ses dénaturants et ses carburants sont tous des corps dissolvants et ils arrivent à sécher complètement les parties métalliques sur lesquelles ils passent; c'est pourquoi les mécaniciens ne manquent pas de vous faire observer, quand on démonte un moteur, que l'alcool « dessèche » les soupapes. En effet, l'essence, bien que dissolvant les graisses, a par elle-même une action lubrificative qu'elle tient du pétrole; la molécule d'essence résiste mieux que celle de l'alcool à l'écrasement, cette résistance étant à peu près proportionnelle au degré lubrificatif du corps étudié. Il y a donc lieu non de graisser davantage qu'avec l'essence, car neuf fois sur dix on graisse trop et on encrasse les soupapes et les bougies de ce fait, mais de graisser mieux et en des endroits appropriés : par exemple, les tiges de soupapes, qu'on néglige souvent dans les moteurs à essence, doivent en être l'objet de la sollicitude du fabricant et des soins du conducteur, et notre expérience nous a montré que nous obtenions des effets de grippage avec l'alcool dans des conditions identiques à celles qui nous permettaient de marcher à l'essence sans aucun inconvénient.

Cette question du graissage a attiré, du reste, l'attention des constructeurs G. Richard, Koerting, Henriod; ce dernier disait même que son alcool était tel, qu'il lubrifiait le cylindre; nous ne pouvons nous prononcer, n'ayant jamais été mis à même d'en essayer.

II. — Une question également importante, qui a fait l'objet d'études spéciales de la part de M. Pétréano, est celle de la dissociation de l'eau à l'état libre dans les moteurs à explosion; cet auteur a indiqué que l'eau introduite dans le cylindre, au lieu de se vaporiser simplement, se dissociait fréquemment et mettait ainsi en liberté l'oxygène naissant, qui est un corrosif puissant. Il trouve le remède dans l'emploi d'un mélange explosif bien homogène.

Nos expériences ont confirmé cette indication, et chaque fois que dans un moteur à alcool, nous avons constaté que de la poussière rouge adhérente et d'une couleur particulière se constatait à la culasse et aux soupapes d'échappement, nous avons relevé que le carburateur était d'un système ne brassant pas les gaz, ou bien que sa distance à la soupape d'admission était trop

faible et ne laissait pas le temps au mélange de se parfaire dans le conduit d'aspiration; au contraire, nous n'avons pas ou peu observé la poudre rougeâtre quand les précautions étaient prises pour que le mélange soit aussi parfait que possible comme, par exemple, dans les moteurs à remisage.

III. — Il serait très désirable qu'on procédât sur les gaz d'échappement des moteurs à alcool aux mêmes essais physiques et chimiques qu'on a exécutés sur les moteurs à gaz ou à pétrole (expériences de Grover, Burstall, etc.). Ce sera une première indication pour l'établissement des moteurs de l'avenir qui permettra de juger si le système du balayage des gaz brûlés est ou non avantageux à l'alcool, comme il a été reconnu l'être dans certains moteurs à gaz pauvre.

D'une façon générale, l'échappement des moteurs à alcool munis d'un bon carburateur ne présente pas la trainée d'étincelles qu'on constate très fréquemment avec les moteurs à pétrole lourd et aussi quelquefois avec ceux à essence; on peut même dire que, lorsque le moteur à alcool fonctionne convenablement, l'échappement doit être à peine tiède. Un examen comparatif était intéressant à faire sur ce point au dernier concours agricole de Paris, où les moteurs à alcool alternaient avec ceux à pétrole; cet examen n'était en rien favorable, sur ce point, à ces derniers.

Rappelons à ce sujet qu'on compte que 45 0/0 environ de la chaleur dégagée par l'explosion est perdue à l'échappement, contre 18 à 19 0/0 utilisés en travail; par conséquent, il y aurait un intérêt capital à rechercher si cette quantité de chaleur perdue est moindre avec l'alcool, et nous croyons que, sur ce point, aucune expérience n'a jusqu'ici été faite, ni en France ni en Allemagne.

A ce sujet, rappelons qu'on a préconisé les moteurs à pétrole dont les diagrammes présentent une courbe allongée, parce que cette forme montre que l'utilisation de la chaleur est aussi complète que possible.

Les diagrammes de moteurs à alcool, dont nous donnons (*fig. 12 et 14*), plusieurs spécimens obtenus par MM. Pétréano, Chauveau, Koerting, Soc. de Marienfelde, montrent que l'inflammation de l'alcool est plus lente que celle de l'essence; on n'a donc pas les diagrammes pointus à la partie supérieure qu'on constate avec ces derniers, et que l'on a recherchés depuis quelques années comme assurant une combustion très rapide qui

permet une détente plus longue et, par suite, abaisse la consommation (voir expériences de A. Witz, Atkinson, Allaire, etc.). Malheureusement, on a poussé trop loin ces conditions de fonctionnement et l'on a reconnu que les chocs violents et répétés produisaient des usures rapides.

On peut donc dire que les diagrammes allongés mais sans choc violent à l'explosion qu'on obtient à l'alcool donnent, sur les diagrammes pointus de l'essence, un réel avantage pour la bonne conservation du moteur, parce que le choc sur la tête de bielle est atténué quand la courbe est arrondie entre l'explosion et la détente, grâce à un peu de retard à l'allumage. Les effets de douceur et d'élasticité constatés, qui sont corroborés par l'examen des diagrammes, sont le résultat de causes multiples dont la principale en tous cas est la détente de la vapeur d'eau en quantité assez considérable au moment de l'explosion.

Les diagrammes comparatifs que nous avons donnés nous apprennent différentes choses :

1° Il y a progrès en 1899 sur 1896 et progrès de 1900 sur 1899; par conséquent, il sera facile d'améliorer encore les diagrammes et, par suite, le rendement utile du moteur;

2° Les compressions peuvent être sans inconvénient de 6 à 8 *kg* et les pressions d'explosion atteignent 12 à 15 *kg* et dans les derniers types 20 *kg*;

3° La détente se fait très régulièrement et la courbe s'abaisse en montrant que la combustion est très complète;

4° Les surfaces des diagrammes comparatifs sont assez sensiblement les mêmes, les ordonnées moyennes sont même, dans les essais d'alcool carburé, un peu plus grandes avec l'alcool qu'avec l'essence.

Alcools carburés. — C'est à la fois des raisons de fonctionnement et des raisons de prix de revient qui ont fait adopter l'alcool carburé qui, à notre avis, a une valeur réelle surtout comme terrain de transition. C'est grâce, du reste, aux efforts persévérants de M. Leprètre, que de nombreux essais ont été entrepris avec l'alcool carburé et que la question a pris en quelques semaines une extension considérable.

L'alcool carburé à 50 0/0 donne une facilité d'emploi aussi grande que l'essence, mais nécessite cependant des dispositifs spéciaux de carburateurs, car les inconvénients de la combus-

tion incomplète se font sentir avec l'alcool carburé autant, sinon plus, qu'avec l'alcool pur. En effet, la combustion incomplète des 50 0/0 d'alcool donne les inconvénients de corrosion dus à la formation d'aldhéydes, d'acides acétiques, etc., la combustion incomplète des 50 0/0 de benzine, qui est employée à la carburation, donnerait des dépôts de carbone, de goudron, etc., et il est un fait reconnu par tous que l'alcool carburé a tendance à donner de l'encrassement là où l'alcool pur n'en donne aucun.

L'alcool carburé est donc une solution d'attente, et ce serait déjà un résultat bien remarquable si l'on substituait à l'essence ce combustible qui contient 75 ou 50 0/0 d'alcool.

Les expériences faites ont montré qu'avec des appareils s'adaptant bien à l'alcool, le liquide carburé à 50 0/0 donnait, à consommation égale, une puissance, à très peu de chose près, égale à la puissance qu'on obtient avec de l'essence.

Rendement et prix de revient.

M. Chauveau a montré que pratiquement le rapport des consommations d'alcool et d'essence est 1,25 à 1,33 et, comparant le moteur à alcool avec le moteur à gaz de ville, il a indiqué que, par les raisons mises en lumière par M. Salançon, le moteur à essence a un rendement théorique inférieur à celui du moteur à gaz et, par suite, inférieur à celui du moteur à alcool, dont le rendement théorique est à peu près égal à celui du moteur à gaz. Cela tient en grande partie, dans le moteur à alcool, à l'action de la vapeur d'eau, qui donne une courbe de détente plus élevée qu'avec l'alcool. Cette action de la vapeur d'eau n'avait été qu'imparfaitement envisagée en 1899, époque à laquelle *tout le monde* commettait l'erreur de préconiser l'emploi d'alcool à 95° au lieu d'alcool à 90° qu'exige la régie, pour éviter d'introduire 5 0/0 de vapeur d'eau dans le cylindre. Il ressort, au contraire, de la comparaison des alcools allemands à 86°, et des alcools français à 90°, que le rendement de ces derniers serait un peu inférieur aux alcools allemands tant par suite de la différence d'hydratation, que par la différence de composition des dénaturants. Par conséquent, l'action favorable de la vapeur d'eau ne fait plus aucun doute pour nous.

En ce qui concerne ces questions de rendement, les discussions qui ont eu lieu à plusieurs reprises devant la Société des Ingénieurs civils semblent avoir montré qu'il est souvent facile de confondre le rendement théorique avec les rendements

thermiques et dynamiques; c'est là une question qu'on nous excusera de n'aborder qu'avec une certaine prudence, et pour laquelle une comparaison nous semble s'imposer tout d'abord.

Le moteur à alcool peut être très utilement comparé au moteur à gaz pauvre tel que le gaz de hauts fourneaux dont notre collègue Deschamps a entretenu la Société il y a quelques semaines.

La comparaison du moteur à alcool avec le moteur à essence marche de pair, au point de vue théorique, avec la comparaison si souvent faite du moteur à gaz riche et du moteur à gaz pauvre.

Les conditions d'établissement du moteur à alcool devront donc se rapprocher de celles du moteur à gaz pauvre pour lesquelles **les courses longues et les** compressions fortes ont été reconnues comme indispensables. On peut donc dire *que le moteur à alcool est le moteur à gaz pauvre de la catégorie des moteurs à explosion qui utilisent le gaz d'air carburé.*

L'évolution du moteur à alcool suivra une marche analogue à celle qu'a suivie le moteur à gaz pauvre ; quand on a utilisé les moteurs à gaz riche avec du gaz pauvre, on a dû avoir de piètres résultats, et c'est du jour où les constructeurs avertis ont créé des moteurs spéciaux, qu'est né l'essor du gaz pauvre qui vient de trouver ces derniers mois, dans l'emploi du gaz de hauts fourneaux, une si intéressante utilisation malgré des difficultés pratiques réelles, résultant notamment de la présence, dans le gaz, d'une forte proportion de poussières minérales.

Par conséquent, dans les conditions encore imparfaites de conception et de construction où nous sommes, il serait prématuré de parler du rendement des moteurs à alcool ; c'est du moins une opinion toute personnelle, car, en Allemagne, les expériences récentes de M. Oelkers, dont M. Arachequesne a publié les résultats, auraient indiqué que les rendements théoriques des divers moteurs étaient les suivants :

Moteurs à vapeur.	13 0/0
Moteur à pétrole lampant . . .	11 à 13 0/0 (1)
Moteur à essence.	15 0/0
Moteur à alcool.	23 0/0

M. Arachequesne a bien voulu nous communiquer, à son retour d'Allemagne, le tableau que nous reproduisons page 168 qui donne le détail du prix de revient, en Allemagne, d'un moteur

(1) Chiffre bien faible comparé à ceux donnés par M. Ringelmann en 1894.

agricole de 8 *ch* avec les divers modes de production de l'énergie.

Tout est donc pour le mieux pour l'alcool, dans le meilleur des mondes.

Il y a lieu de souhaiter que ces résultats ne soient pas trop optimistes; mais il est un fait qui ressort de toute notre étude, c'est que le moteur à alcool a un rendement tel et une élasticité si réelle, qu'il peut trouver place à côté du moteur à essence et surtout du moteur à pétrole lampant.

Reste la question du *prix de revient.* On a comparé, à la suite des expériences faites en Allemagne et en France, les prix de revient de l'essence, de l'alcool pur et de l'alcool carburé; nous estimons que c'est un tort, car le prix de l'essence est un prix fictif qui résulte de la loi éternelle de l'offre et de la demande, et l'on sait que le prix de ce combustible a augmenté du jour où l'automobile lui a donné un débouché si important, qu'il arrive chaque année une certaine pénurie d'essence au moment où la circulation automobile est la plus intense.

D'autre part, l'alcool dénaturé pur se vend actuellement au détail 0,60 *f* le litre et l'alcool carburé à 50 0/0, environ 0,50 *f*, mais ces prix sont sujets à variation; la prime de 9 *f* par hectolitre dénaturé, née d'un débat législatif peu cohérent du reste, sera-t-elle augmentée comme les alcoolistes le demandent, ou, au contraire, sera-t-elle menacée de disparaître dans le budget prochain comme certains le craignent? C'est ce que l'avenir nous apprendra.

Nous estimons donc, comme pour le rendement, qu'il est prématuré de parler du prix de revient.

Cependant, on peut citer, surtout à titre de curiosité, les chiffres qui ont été obtenus en Allemagne et que nous avons donnés plus haut.

En tous cas, il y a lieu, quand on parle de prix de revient, de distinguer l'alcool dénaturé pur des alcools carburés.

En ce qui concerne l'alcool pur, nous sommes entièrement d'accord avec M. Chauveau quand il a montré que la consommation d'alcool est un quart en plus environ de celle de l'essence à puissance égale et que, dans ces conditions, les prix de revient pourront être égaux seulement le jour où le prix de l'alcool dénaturé sera les trois quarts du prix de l'essence; du reste, M. Ringelmann, auquel on a parfois reproché avec amertume ses conclusions sur la question, n'a, en somme, pas dit autre chose.

Prix de revient du cheval-heure sur un moteur agricole de 8 *ch* (1).

	VAPEUR	ESSENCE DE PÉTROLE	ALCOOL	PÉTROLE
Prix d'achat du moteur 8 *ch*. . . . . marks.	5 200 »	4 550 »	4 800 »	4 300 »
Intérêt à 4 1/2 0/0 du capital engagé . . . . . marks.	234 »	204,75	216 »	193,50
Amortissement à 7 1/2 0/0 du capital . . . . . —	364 »	318,50	336 »	311 »
Main-d'œuvre par an. . . . . —	1 200 »	600 »	600 »	600 »
Graissage . . . . . —	75 »	75 »	75 »	75 »
Entretien du matériel. . . . . —	25 »	25 »	25 »	25 »
Total des frais annuels . . . . . marks.	1 898 »	1 223,25	1 252 »	1 209,50
Combustible par heure . . . . . *kg*.	27,50	*l* 3,5	*l* 4,3	*kg* 3,5
— par an	82 500 »	10 500 »	12 900 »	10 500 »
Prix du combustible par 100 *kg* ou rep. par hectolitre. . . . . marks.	3,20	36 »	20 »	25 »
Dépense du combustible par an . . . . . marks.	2 640 »	3 780 »	2 580 »	2 625 »
Dépense totale par an . . . . . marks.	4 538 »	5 003,25	3 832 »	3 839,50
Prix de revient réel du cheval-heure. . . . . en pfennigs.	18,9	20,8	16 »	16 »
en francs.	0,236	0,260	0,200	0,200

(1) Communiqué par M. Arachequesne à la séance du 5 juillet 1901.

Par conséquent, c'est aux producteurs d'alcool et aux législateurs de rechercher les moyens de mettre sur un pied d'égalité les deux combustibles; jusque-là il est certain que la question technique restera toujours stationnaire.

En ce qui concerne l'alcool carburé, la question est toute autre : on vient enrichir la puissance calorifique du liquide moteur avec un produit qui coûte moins cher que l'essence et le prix de revient de l'alcool carburé diminue avec sa teneur en alcool.

D'autre part, la consommation varie selon que le liquide moteur est utilisé d'une façon plus ou moins parfaite, et le professeur Goslich, de Berlin, a trouvé que, *dans les conditions où il opérait*, c'est l'alcool carburé à 80 0/0 qui donnait la consommation la plus réduite.

Nous ne pourrions nous baser absolument sur les chiffres obtenus à Berlin que si nous étions certains que les conditions de l'opération étaient parfaites; or rien ne le prouve, et nous savons par nous-même combien les résultats peuvent être faussés sans qu'on s'en doute.

En tous cas, tout dépend du prix de revient de l'alcool à 80 0/0 par rapport à l'alcool à 50 0/0 et ce prix varie selon les pays et, dans un même pays, selon les cours de l'alcool et du benzol.

Nous estimons donc qu'il est encore prématuré de *calculer* les prix de revient en France et ceci tant qu'on ne sera pas certain d'obtenir des rendements maxima avec les moteurs essayés.

Cependant, il est intéressant de faire connaître les chiffres obtenus et, parmi eux, les plus grandes garanties d'exactitude doivent être accordées à ceux tirés par M. Loreau des essais de la Société des Agriculteurs de France; faisons observer toutefois que, depuis ces essais, les prix unitaires de l'essence se sont élevés avec la consommation. Les chiffres obtenus par M. Loreau sont les suivants :

		Alcool carburé à 50 0/0.	Essence à 680°.
Dépense par cheval-heure. . . .		0,735 *l*	0,677 *l*
Hors Paris .	Prix du litre . . .	0,45 *f*	0,50 *f*
	Prix du cheval-heure.	*0,330 f*	*0,338 f*
Dans Paris .	Prix du litre . . .	0,55 *f*	0,70 *f*
	Prix du cheval-heure.	*0,404 f*	*0,473 f*

Par conséquent, on peut dire, en ce qui concerne l'alcool car-

buré, que, en France, l'état actuel de la question (juillet 1901) est le suivant :

Les consommations d'essence rectifiée à 700° pour moteur et d'alcool carburé à 50 0/0 sont sensiblement les mêmes par cheval-heure effectif ou par tonne kilométrique de voiture automobile ;

Le prix de vente de l'alcool carburé Lepretre à 50 0/0 étant sensiblement le même que le prix moyen de l'essence à 700°, il y a parité dans le prix de revient à quelques centimes près ;

L'abaissement des droits sur l'alcool et les primes à cette industrie abaisseront le prix de revient de l'alcool carburé dans une proportion égale au pourcentage d'alcool employé dans les mélanges et, dès à présent, on peut dire que, le 1er janvier 1902, le prix de l'alcool carburé à 50 0/0 sera légèrement inférieur au prix moyen de l'essence à 700° ;

Le mélange qui donne les meilleurs résultats économiques et les plus grandes facilités pour les transformations de moteur est le mélange à 50 0/0 ; mais il est possible qu'en utilisant bien un mélange plus riche en alcool (comme l'alcool carburé allemand à 80 0/0) on obtienne un prix de revient sensiblement égal.

En terminant cette étude sur les *moteurs à alcool*, qu'il nous soit permis de reprendre et discuter nous-même nos conclusions de juin 1899 :

1° Nous estimions que l'état physique de l'alcool et du mélange carburé au moment de son emploi était un facteur important de rendement. Nous sommes plus que jamais dans ces idées.

Il est de toute nécessité, pour faire rendre à l'alcool moteur tout ce qu'il doit rendre, de produire le mélange dans des appareils spéciaux dans lesquels la dimension et, par suite, les vitesses des gaz et les températures seront minutieusement réglées ; il faut utiliser ce mélange dans des moteurs spéciaux à longue course et à forte compression dont les caractéristiques ne seront obtenues que par une série d'essais et de tâtonnements pratiques à peine entrepris à l'heure actuelle ;

2° Emploi d'alcools à haut titre, c'est-à-dire 95 à 98°, dénaturés par des hydrocarbures spéciaux.

Sur la première partie de cette conclusion, l'expérience a montré que la théorie était en défaut : contrairement à ce qu'on ob-

tient pour l'éclairage, l'alcool à 90° ou même à 86° comme en Allemagne, c'est-à-dire contenant environ 14 0/0 d'eau, donne de meilleurs résultats pour la force motrice que les alcools presque purs ; sur ce point, les essais entrepris depuis 1899 ont montré que, contrairement à ce que nous pensions comme bien d'autres, la formation de vapeur d'eau au sein du mélange explosif favorise la détente du gaz en augmentant le rendement thermique.

Sur la deuxième partie relative à la dénaturation, nous avons à nous féliciter de la disparition du vert malachite et à constater les efforts faits par l'Administration pour améliorer encore la situation ;

3° Nous indiquions, en 1899, que l'abaissement du prix de l'alcool s'imposait pour permettre la lutte économique avec les pétroles. Tout en constatant qu'un premier pas a été fait dans cette voie par la réduction de la taxe de dénaturation, nous maintenons notre précédente conclusion.

A cause de cette question de prix de revient et rien qu'à cause d'elle, la majorité des constructeurs n'ont essayé que l'emploi du liquide mixte, alcool carburé à 50 0/0, qui restreint évidemment la consommation à plus de la moitié de ce qu'elle serait avec l'alcool pur.

C'est là une solution d'attente pour laquelle il peut rester des doutes en l'esprit de quelques-uns sur l'économie qu'on peut réaliser ; nous ne devons pas nous en tenir là, car ce serait ne pas sortir du cercle vicieux que nous signalions il y a deux ans.

C'est aux constructeurs, c'est-à-dire aux Ingénieurs civils, qu'il appartient d'étudier spécialement des moteurs en vue de l'alcool pur ou des alcools carburés à haut titre de façon à obtenir un fonctionnement assuré et des résultats économiques bien nets, et nous ne doutons pas que, dans quelques mois, des chiffres bien plus probants que ceux obtenus avec des appareils adaptés à l'alcool ne puissent être publiés.

Il appartient enfin aux législateurs d'encourager les études de l'industrie française par des dégrèvements successifs qui, seuls, peuvent assurer l'essor économique du moteur à alcool.

L'UTILISATION DES GAZ DE HAUT FOURNEAU

PAR

Jules DESCHAMPS

Dans les hauts fourneaux, on ne peut chercher d'économie que dans la consommation du combustible. On tire, en effet, du minerai tout le métal qu'il contient, tandis que la dépense de combustible fournit une quantité de chaleur bien plus considérable que celle qui est nécessaire aux réactions physiques et chimiques qui s'y produisent.

L'énergie, fournie ainsi par le combustible, se retrouve en grande partie dans les gaz, qui s'échappent du haut fourneau et qui sont eux-mêmes combustibles, le déchet est constitué par les pertes aux parois.

Pour diminuer les pertes aux parois, on a fait les fourneaux de plus en plus larges, afin que la surface par rapport au volume décroisse. Puis on a cherché à réduire le temps pendant lequel la combustion se produit, en faisant les fourneaux de plus en plus élevés, l'étalage de plus en plus obtus, afin d'avoir une descente rapide de la charge.

Dans cette voie, on a beaucoup réduit la consommation, qui a pu descendre à 800 et même 750 *kg* de coke par tonne de fonte, mais, d'autre part, plus la marche du fourneau est activée, plus l'on doit avoir des souffleries à haute pression ; celles-ci nécessitent une grande dépense de force motrice et, par conséquent, de combustible. Il semble qu'à partir d'une certaine limite il n'y aurait plus économie à accélérer la marche d'un haut fourneau.

On a songé à réduire aussi l'énergie entraînée dans les gaz, en augmentant autant que possible le rapport des proportions de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone, mais, là encore, il y a une limite qu'on ne peut dépasser.

C'est qu'en effet, le combustible agit dans les hauts fourneaux de deux manières à la fois : d'une part, en produisant une élévation de température, nécessaire aux réactions chimiques et à la liquation du métal et du laitier ; d'autre part, comme agent

réducteur, afin de désoxyder le minerai ; par conséquent, les gaz, pour être réducteurs, doivent être incomplètement oxydés et par suite combustibles.

Si l'on ne peut ainsi songer à rendre complète la combustion du coke dans le haut fourneau, il suffit d'employer économiquement les gaz combustibles, que l'on recueille, pour obtenir un avantage comparable.

C'est ce que l'on cherche à faire depuis trente ou quarante ans, les appareils Cowper sont la meilleure utilisation, ils ne consomment guère plus du tiers des gaz. Ceux-ci sont encore employés au grillage des minerais, au chauffage des fours et, jusqu'à ces dernières années, au chauffage des chaudières fournissant la force motrice des souffleries.

On cherche ainsi à réduire, autant que possible, les consommations de charbon aux appareils accessoires du haut fourneau et même, dans certains hauts fourneaux, à Boucau notamment, on est arrivé à produire plus de force motrice qu'il n'est nécessaire pour les besoins du haut fourneau et à avoir ainsi un excédent disponible pour l'usine voisine, ce qui constitue en somme un sous-produit dont la valeur doit être déduite du prix de fabrication de la fonte.

Depuis six ans environ, on a songé à employer d'une autre manière les gaz qui restaient disponibles et à les utiliser, non pas aux chaudières, mais directement dans les moteurs à gaz. Le bénéfice devait être considérable, non seulement parce que le moteur à gaz a un rendement double de celui de la machine à vapeur et l'on peut l'affirmer en se basant uniquement sur l'expérience, puisque le rendement, dans un moteur à gaz, atteint facilement 20 à 25 0/0, ainsi que l'ont montré différents essais établis avec la plus grande autorité ; mais, parce que l'emploi direct du gaz, au moteur à gaz, supprime l'intermédiaire chaudière qui, à lui seul, cause un déchet de 30 à 40 0/0.

Dans le problème, tel qu'il se pose ici, on peut comparer le rendement des moteurs à gaz et des machines à vapeur, mais les conditions ne sont pas les mêmes que lorsqu'il s'agit d'une installation de force motrice.

Dans ce dernier cas, en effet, il y a lieu de comparer le groupe moteur à gaz et gazogène, au groupe chaudière et machine à vapeur, puisqu'il faut toujours que le combustible cède son énergie à un fluide gazeux, dont la grande expansion peut seule actuellement être utilisée dans un moteur thermique.

Le haut fourneau, qui fournit lui-même le gaz, est, en somme, un gazogène, le problème est ainsi très différent et l'avantage du moteur à gaz encore plus certain.

L'expérience a montré que l'on obtenait facilement un cheval-vapeur avec 3,5 m^3 de gaz, alors qu'en se plaçant dans les meilleures conditions pour les chaudières et les machines à vapeur, on ne pourrait pas dépenser moins de 8 m^3.

Je ne fais pas appel ici à la comparaison des rendements théoriques; on s'est souvent servi à ce sujet du principe de Carnot, qui ne peut être considéré pour les moteurs à gaz là, où il n'y a pas de cycle fermé et, si l'on admettait, par une fiction, que les gaz parcourent ainsi un cycle fermé, l'équation de Carnot ne serait pas applicable, serait même inexacte, puisque le cycle serait irréversible.

En outre, les formules de rendement que l'on a établies, pour les machines à vapeur et pour les moteurs à gaz, ne se prêtent pas à la comparaison, le rendement des moteurs à gaz étant presque uniquement fonction de la compression et indépendant des températures extrêmes, tandis que le rendement de la machine à vapeur dépend surtout de la température de la vapeur et de celle du condenseur. Enfin cette comparaison m'a semblé d'autant moins nécessaire que l'expérience a déjà jugé la question.

On a cherché à évaluer, dans différents hauts fourneaux, la quantité de force motrice, qui pourrait rester disponible, pour des emplois autres que ceux du haut fourneau, par tonne de fonte et à évaluer ainsi le bénéfice réalisé, en récupérant cette force motrice.

Cette quantité est variable d'un haut fourneau à l'autre et, dans le même fourneau, suivant l'allure et suivant le genre de fonte recherché. Aussi me bornerai-je à des généralités.

En moyenne, on consomme au haut fourneau 1 *kg* de coke par kilogramme de fonte, soit 7 000 calories. D'autre part, les réactions qui se produisent dans les fourneaux sont évaluées environ à 2 000 calories et l'on peut estimer à 1 000 calories les pertes de toute nature, il reste donc 4 000 calories disponibles dans les gaz qui sortent du haut fourneau et cela par kilogramme de fonte.

Ces 4 000 calories sont plus que suffisantes, pour donner un cheval-heure effectif et même un cheval-heure électrique, en marche industrielle.

De ces chiffres, il résulte que, pour une tonne de fonte, en

24 heures, il y aurait d'une façon constante 40 chevaux-heure disponibles aux moteurs à gaz. Sur ces 40 chevaux, on peut estimer que la moitié est plus que suffisante pour les besoins de la soufflerie et des monte-charges.

Il reste donc largement 20 *ch* disponibles pour les besoins de l'extérieur, véritable bénéfice réalisé à la fabrication de la fonte.

Le raisonnement que je viens de faire, quoique très superficiel, a l'avantage de ne pas faire entrer en ligne de compte, ce qui se dépense aux Cowper.

On a cherché à évaluer, en argent, l'économie ainsi réalisée par tonne de fonte, différents procédés ont été employés. M. Dutreux, en particulier, considère le nombre de calories fournies aux moteurs et en évalue la valeur à celle de la quantité de charbon qui produirait en brûlant la même chaleur. A mon avis, il faut tenir compte de ce que ce charbon employé dans un gazogène subirait un déchet de 25 0/0 et que le gazogène occasionnerait des dépenses de premier établissement et d'entretien.

Cette idée si rationnelle de l'emploi des gaz de haut fourneau et de moteurs à gaz a dû venir à plusieurs et notamment, dès 1874, M. Lencauchez écrivait déjà que le haut fourneau était un gazogène parfait. Mais il fallait, pour employer l'énorme quantité des gaz de haut fourneau, des moteurs de haute puissance, qui n'existaient pas il y a quelques années et toute une série de difficultés très apparentes se présentaient, de telle sorte que quand M. Thwaite a le premier cherché à employer ces gaz, son idée a été traitée de folie, par des gens du plus grand mérite.

M. Thwaite peut être considéré comme le véritable précurseur et ceci à double titre : d'abord parce que des témoignages indiscutés attestent que, dès 1894, non seulement il prévoyait l'avenir des moteurs à gaz aux hauts fourneaux, mais il faisait des propositions fermes dans ce sens à des maisons anglaises.

En outre, dès le début, seul, il a nettement compris comment le problème devait être résolu.

Les difficultés, qui se présentaient, étaient les suivantes : les gaz de haut fourneau sont très pauvres. Ils brûlent mal aux chaudières et dans les fours et ce fait les a fait croire plus pauvres qu'ils ne sont réellement, car leur pouvoir calorifique semble s'élever entre 900 et 1 000 calories. On les accusait aussi d'être de qualité très variable, suivant l'allure du haut fourneau et les interruptions nécessitées par les charges.

Ces inconvénients ont beaucoup frappé la grande majorité, qui connaissait surtout le moteur à gaz de ville. Ils devaient effrayer beaucoup moins quelqu'un, comme M. Thwaite, qui avait la pratique des gazogènes.

C'est qu'en effet il y a un tout autre écart entre le gaz de ville, dont le pouvoir calorifique s'élève à 5 500 et 6 000 calories, 5 300 en moyenne à Paris, et le gaz de gazogène, où il n'atteint que 1 200, 1 300 ou 1 400 calories, qu'entre ce gaz et celui des hauts fourneaux, où la différence est en somme fort restreinte.

De même, les variations dans le pouvoir calorifique du gaz, qui se produisent dans les gazogènes aux périodes de chargement, sont plus importantes que dans les hauts fourneaux, qui sont de très grands appareils et où les conduites ont un très grand développement.

Il n'y avait donc pas lieu de s'inquiéter beaucoup de la pauvreté du gaz et des variations de sa qualité, il suffisait pour rendre le mélange gazeux inflammable de lui faire subir une compression plus élevée.

Dejà, pour le gaz de gazogène, on avait élevé la compression jusqu'à 6 *kg*, alors qu'on ne dépasse guère 4 *kg* pour le gaz de ville, l'on a comprimé jusqu'à 7,5 *kg* et même 8 et 9 *kg* avec le gaz de haut fourneau.

A ce sujet, l'on a craint aussi que plus pauvre soit le gaz plus réduit soit le rendement et qu'ainsi avec des gaz très pauvres, la supériorité du moteur à gaz sur la machine à vapeur soit singulièrement réduite.

Là encore, on a été entraîné par un mauvais emploi des principes de la thermodynamique et on a pensé qu'avec des gaz plus pauvres les températures de combustion seraient moins élevées. Mais, je le repète, si l'on considère le rendement du moteur à gaz dans lequel le volume de la détente ne dépasse pas le volume de l'admission, le rendement théorique, en ne tenant pas compte des chaleurs perdues aux parois, ne dépend que de la compression (1) et le déchet des parois est d'autant moins élevé que les températures de combustion sont d'autant plus réduites. Aussi semble-t-il que les moteurs à haute compression doivent, au contraire, avoir un rendement préférable et, comme il ne peut être fait de haute compression qu'avec des

(1) Essai sur la théorie des moteurs à gaz. *Revue de Mécanique;* juillet, septembre, décembre 1900.

gaz très pauvres, que les moteurs, qui emploient ces gaz, doivent être les plus avantageux.

En fait, les expériences ont montré que le rendement des moteurs, fonctionnant avec le gaz des hauts fourneaux, était supérieur à celui des moteur au gaz de ville, malgré le mauvais rendement organique que les grandes compressions entraînent.

Il n'y avait donc pas de difficultés de principes à appliquer les moteurs à gaz, aux gaz de hauts fourneaux.

La plus grande difficulté, que l'on ait rencontrée pour l'emploi des moteurs à gaz, fut l'impureté même des gaz. Ceux-ci contiennent une grande quantité de poussières, très variable d'un haut fourneau à l'autre, puisque M. Greiner a fait faire des analyses qui lui ont donné 3 *g* par mètre cube au haut fourneau de Seraing et jusqu'à 13,6 *g* au haut fourneau de Volklingen.

Ces poussières s'opposaient déjà à la combustion du gaz dans les chaudières, où les carnaux étaient vite encombrés et causaient de graves inconvénients aux appareils Cowper.

Non seulement les conduites s'obstruent et les gaz les traversent difficilement, mais les surfaces chauffées sont recouvertes d'un enduit, souvent comparé à un duvet, qui ne laisse pas passer la chaleur. Aussi la combustion du gaz se fait-elle dans de très mauvaises conditions, les fumées sortent chaudes sans avoir échauffé les parois.

Il était à craindre que, dans un moteur où la combustion est intérieure, ces poussières encombrent les soupapes, en arrêtent le fonctionnement et soient surtout nuisibles à la soupape d'échappement, où les gaz passent à très haute température.

On a pensé, qu'il pourrait suffire d'avoir des soupapes de très grande section et que le mouvement rapide des gaz dans le moteur pourrait entraîner les poussières.

Mais il se produit un phénomène particulier.

Si grandes que soient les soupapes, les gaz y passent généralement à une vitesse de 50 *m* à la seconde.

Les gaz s'arrêtent, en quelque sorte, dans le moteur, où la vitesse du piston est en moyenne 10 fois moindre et les poussières se trouvent, par cette différence de vitesse, projetées et séparées de la masse gazeuse. En outre, dans la plupart des moteurs, en même temps qu'il y a changement de vitesse, il y a changement de direction, l'axe des soupapes étant, en général, perpendiculaire à l'axe du cylindre moteur.

Ce sont justement par des procédés analogues que l'on pourra obtenir la séparation la plus parfaite des poussières contenues dans les gaz.

Il faut donc renoncer à l'espoir de faire des moteurs à gaz fonctionnant avec des gaz mal épurés et, avant toute chose, c'est le nettoyage des gaz qui s'impose.

Les procédés employés pour l'épuration des gaz se réduisent en somme à quatre espèces :

Les poussières se déposent d'abord, grâce à leur gravité. C'est pourquoi il est important d'avoir des conduites très longues du haut fourneau au moteur et à grande section pour que les poussières des gaz s'y déplacent avec une grande lenteur.

On se sert aussi de la différence de densité des poussières et des gaz, pour séparer les unes des autres, en produisant dans la marche des gaz des changements de vitesse et des changements de direction, pendant lesquels les poussières, entraînées par leur force vive, se séparent des gaz.

Cette séparation peut se faire à sec, c'est ce qui se produit dans les tuyaux d'orgue, à tous les coudes d'une conduite, aux changements de diamètre d'une conduite et dans des appareils spéciaux bien connus dans tous les hauts fourneaux.

La séparation est toutefois plus certaine, quand les poussières à entraîner rencontrent une couche d'eau. Les poussières pénètrent dans l'eau et se mouillent.

Dès qu'une poussière est mouillée, elle ne pourra pas faire retour aux gaz, tandis qu'un mouvement tourbillonnaire pourrait faire revenir dans ceux-ci les poussières déposées à sec. Aussi, presque partout dans les conduites, convient-il de mettre des joints hydrauliques, qui présentent encore l'avantage de ne pas laisser pénétrer l'air et permettre une vidange très facile, soit par un clapet, soit avec des râteaux, puisque les poussières se déposent dans le fond sous forme de boue.

Un autre procédé consiste à mouiller directement les poussières qui sont dans les gaz. On a cherché, à ce sujet, à faire traverser aux gaz des bacs remplis d'eau, où des chicanes obligent fréquemment le gaz à entrer et sortir de l'eau. Il ne semble pas que ces procédés aient grande action sur les fines poussières, qui restent dans les bulles gazeuses et ne vont pas au contact de l'eau; aussi conviennent-ils plutôt aux premières opérations.

Pour mettre l'eau en contact plus intime avec les gaz, il convient surtout de multiplier les surfaces de contact. Rien ne

semble préférable, dans ces conditions, à l'usage des scrubbers.

Dans ces appareils, les gaz traversent de bas en haut un grand cylindre rempli de coke, ou de fibre de bois, sur lequel une pluie d'eau tombe constamment.

Pour la vidange facile de ces scrubbers, on les fait, de préférence, séparés par une série de cloisons horizontales. Chaque cloison est percée de trous et une porte au-dessus de chaque cloison permet d'amener le coke, ou de le retirer, quand on estime qu'il est trop sale.

Dans certaines usines, on emploie uniquement la fibre de bois, dans d'autres uniquement le coke, dans d'autres simultanément les deux superposés.

Enfin, un autre procédé est le filtrage, consistant à faire passer les gaz, par pression, dans une couche plus ou moins épaisse de sciure de bois, de fibre de bois, de feutre, de coke très fin, comprimé entre deux surfaces.

Il semble que, pour que l'épuration soit suffisante, il convient d'employer successivement plusieurs de ces procédés, en tenant compte de la quantité et de la qualité des poussières, qui se trouvent dans les gaz à la sortie du haut fourneau.

Il est certain que les poussières de coke, des minerais, des fondants, non transformés, sont des débris, qui sont encore assez gros et qui s'élimineront facilement dans les tuyaux d'orgue et dans les appareils de vidange, tels que deux cylindres concentriques, où les gaz descendent de haut en bas par le cylindre intérieur, pour changer brusquement de direction et remonter de bas en haut dans l'espace annulaire entre les deux cylindres, enfin dans les appareils laveurs.

Certaines poussières, au contraire, qui semblent être surtout des silicates d'alumine et de chaux sont extrêmement tenues et résistent à ces procédés d'épuration. Les scrubbers et les filtres perfectionnent le nettoyage.

C'est encore l'emploi des changements de vitesse ou de direction, à condition d'employer de grandes vitesses, qui peut permettre, en dernier lieu, le nettoyage le plus parfait et je décrirai différents appareils centrifuges basés sur ce procédé.

Je ferai toutefois observer combien il importe de choisir son mode d'épuration, d'après la nature même des gaz à épurer.

M. Greiner estime que ce qui a produit la grande difficulté d'épuration des gaz de haut fourneau du grand duché de Luxembourg, provient surtout de la gangue siliceuse dans la-

quelle les minerais de fer de cette région sont enfermés et qui donnait naissance à ces poussières si ténues.

Dans des cas semblables, il est certain que l'épuration doit être très poussée, que le filtrage comme dernière opération peut n'être pas suffisant et l'emploi des appareils centrifuges s'impose, tandis qu'à Seraing, par exemple, il y a seulement de longues conduites et des appareils laveurs.

A ce sujet, mon avis est que, quand les gaz sont très sales, il ne faut pas, comme on le fait à Differdange, se borner à l'emploi d'un seul genre d'appareil, fut-il le plus parfait.

A ces hauts fourneaux, en effet, on emploie uniquement un ventilateur centrifuge avec injection d'eau.

Il me semble qu'il convient, au contraire, d'user d'autres épurateurs qui enlèvent les poussières les plus massives et de procéder progressivement.

Une remarque, qu'il convient encore de faire dans l'installation des appareils d'épuration, c'est que celle-ci est d'autant plus parfaite, que les gaz parcourent leur chemin le plus lentement. Aussi ne faut-il pas s'étonner que les épurateurs, qui donnaient un gaz très suffisamment nettoyé pour la marche d'un moteur, ne donnent plus un gaz assez propre, quand, à côté du moteur primitif, on en a installé 2 ou 3 semblables, le débit du gaz ayant triplé ou quadruplé.

C'est pourquoi il faut être très méfiant et n'attacher que peu d'importance aux essais des appareils d'épuration, que l'on fait le plus souvent avec de petits moteurs et qu'il ne faut pas trop s'étonner que des moteurs de faible puissance aient fonctionné longtemps sans accident, là où, plus tard, des moteurs de haute puissance n'ont pas même pu marcher quelques heures.

Les premiers brevets de M. Thwaite montrent tout un système d'épuration particulièrement bien compris, qui ait été appliqué en Angleterre à Wishaw, à Frodinghan, à Barrow-in-furness, aux Sheepbridg iron Works, où une soufflerie marchant à 180 tours se monte actuellement.

En Allemagne, aux usines Phœnix, à Bergeborbeck, près Essen, l'épuration est installée pour 4 500 *ch*.

En France, à Outreau, aux aciéries Robert.

La disposition qu'a employée M. Thwaite est la suivante, son opération se divise en trois phases :

Dans une première période, se fait un dégrossissage, permet-

tant aux gaz de pouvoir sans inconvénient traverser un exhausteur.

L'action des gaz chargés de poussière, sur les ailettes d'un ventilateur et surtout sur son enveloppe, est telle, que la tôle, en quelques instants, est usée et traversée, il convient donc d'envoyer, à l'exhausteur, des gaz en partie nettoyés.

Dans les appareils Thwaite, les gaz sont ainsi refoulés dans des appareils laveurs et dans des scrubbers. Ils viennent enfin terminer leur épuration dans un filtre à fibre de bois très ingénieusement disposé.

Ce qui caractérise cette série d'appareils, dont l'invention date des premiers essais de M. Thwaite et qui dans les dernières installations, notamment à celle d'Outreau, ont subi peu de variations, c'en est le judicieux ordonnancement.

Les appareils d'épuration sont rangés méthodiquement par ordre. Ils sont séparés les uns des autres par des vannes, dans lesquelles des joints liquides ont été prévus en mercure, et en exécution ont été en partie remplacés par des joints hydrauliques.

Certains appareils, comme les épurateurs à sec, ou les filtres, sont doublés de façon que, lorsque leur nettoyage s'impose, l'un des appareils puisse être mis hors circuit. Au contraire les appareils laveurs, où les poussières sont recueillies dans l'eau sans interruption du passage des gaz, n'ont pas besoin d'être doublés.

Enfin, M. Thwaite a pris la sage précaution d'avoir des appareils avertisseurs, des vannes à fermeture automatique, pour empêcher les gaz d'aboutir au gazomètre, quand la cloche de celui-ci atteint une hauteur suffisante.

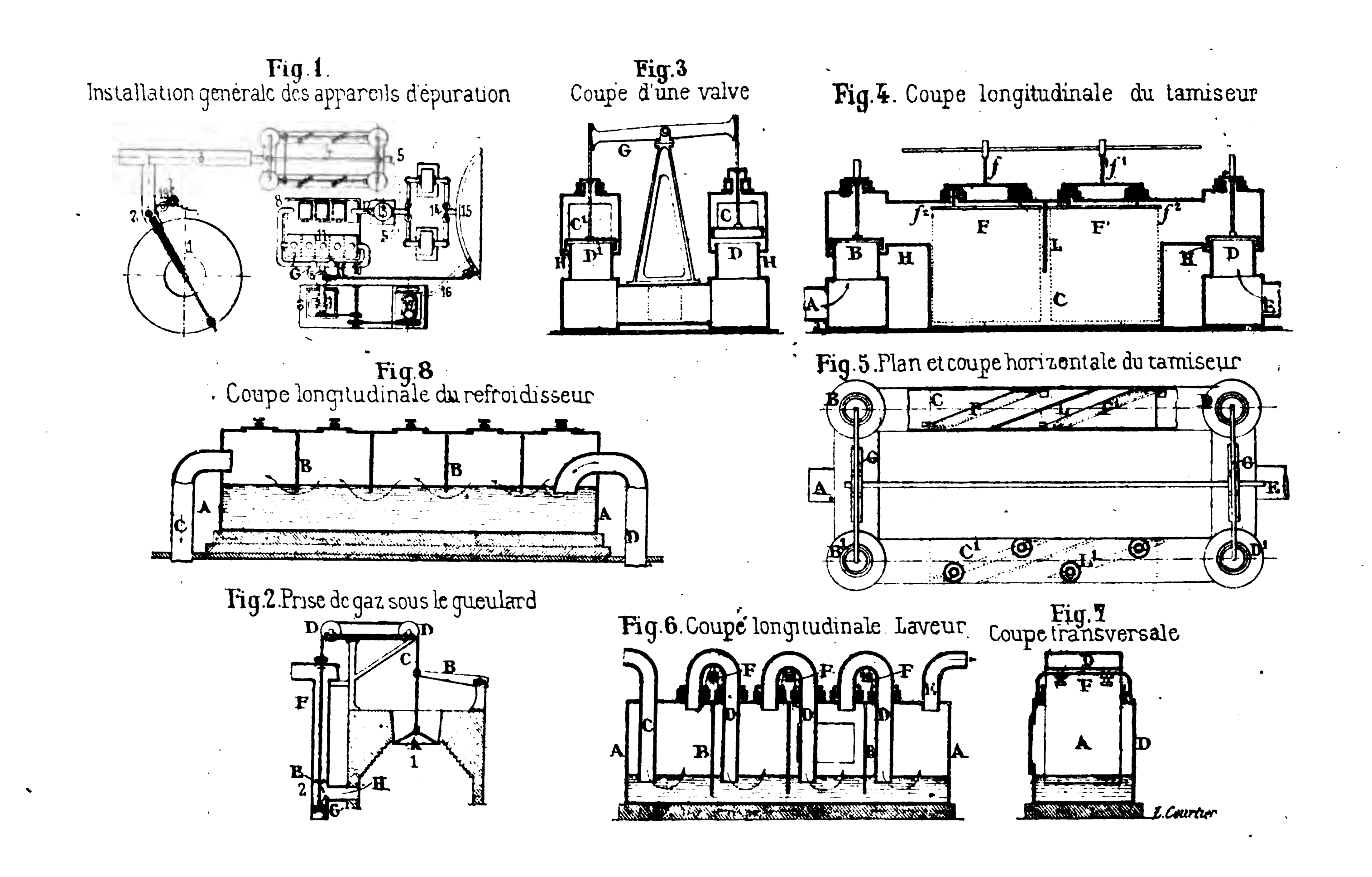
M. Thwaite a, en outre, pourvu son appareil d'une série de manomètres, montés en tableau et reliés aux divers appareils d'épuration, qui permettent de voir immédiatement l'endroit où un engorgement pourrait se produire, dans l'un de ces appareils.

C'est d'ailleurs ce qui se fait dans toutes les bonnes installations de gazogènes.

La figure 1 montre l'ensemble des appareils d'épuration de M. Thwaite.

Dans la figure 2, on voit le dispositif d'une double valve qui peut, soit permettre aux gaz de s'écouler dans l'atmosphère ou dans les appareils Cowper en F, soit, par G, de s'en aller aux épurateurs.

Il est facile de voir que, lorsque l'on charge le haut fourneau


Fig. 1.
Installation générale des appareils d'épuration
Fig. 3
Coupe d'une valve
Fig. 4. Coupe longitudinale du tamiseur
Fig. 8
Coupe longitudinale du refroidisseur
Fig. 5. Plan et coupe horizontale du tamiseur
Fig. 2. Prise de gaz sous le gueulard
Fig. 6. Coupe longitudinale Laveur
Fig. 7
Coupe transversale
J. Courtier

et que le cône A est baissé, la valve est soulevée par la corde tendue sur les poulies DD et le gaz ne va pas dans l'appareil d'épuration.

C'est une sage mesure de précaution pour empêcher que l'air ne soit entraîné avec le gaz et que des explosions ne se produisent.

La figure 3 montre la coupe de l'une des doubles valves à joints au mercure, solidaires, de façon que, lorsqu'une vanne est ouverte et laisse pénétrer les gaz dans un jeu d'épurateur, ils ne puissent traverser l'appareil jumeau, qui peut alors être nettoyé.

Ces doubles vannes sont figurées en B et D dans un tamiseur à sec, figure 4 et 5. Elles sont commandées simultanément par le même arbre.

Ce tamiseur se compose essentiellement d'une caisse en tôle que les gaz traversent, chicanés par une cloison oblique L. Deux tamis, formés chacun de deux toiles métalliques écartées de quelques centimètres et figurées en F et F', sont animés, par les tringles *ff'*, d'un mouvement vibratoire, qui les empêche de s'obstruer en faisant tomber la poussière.

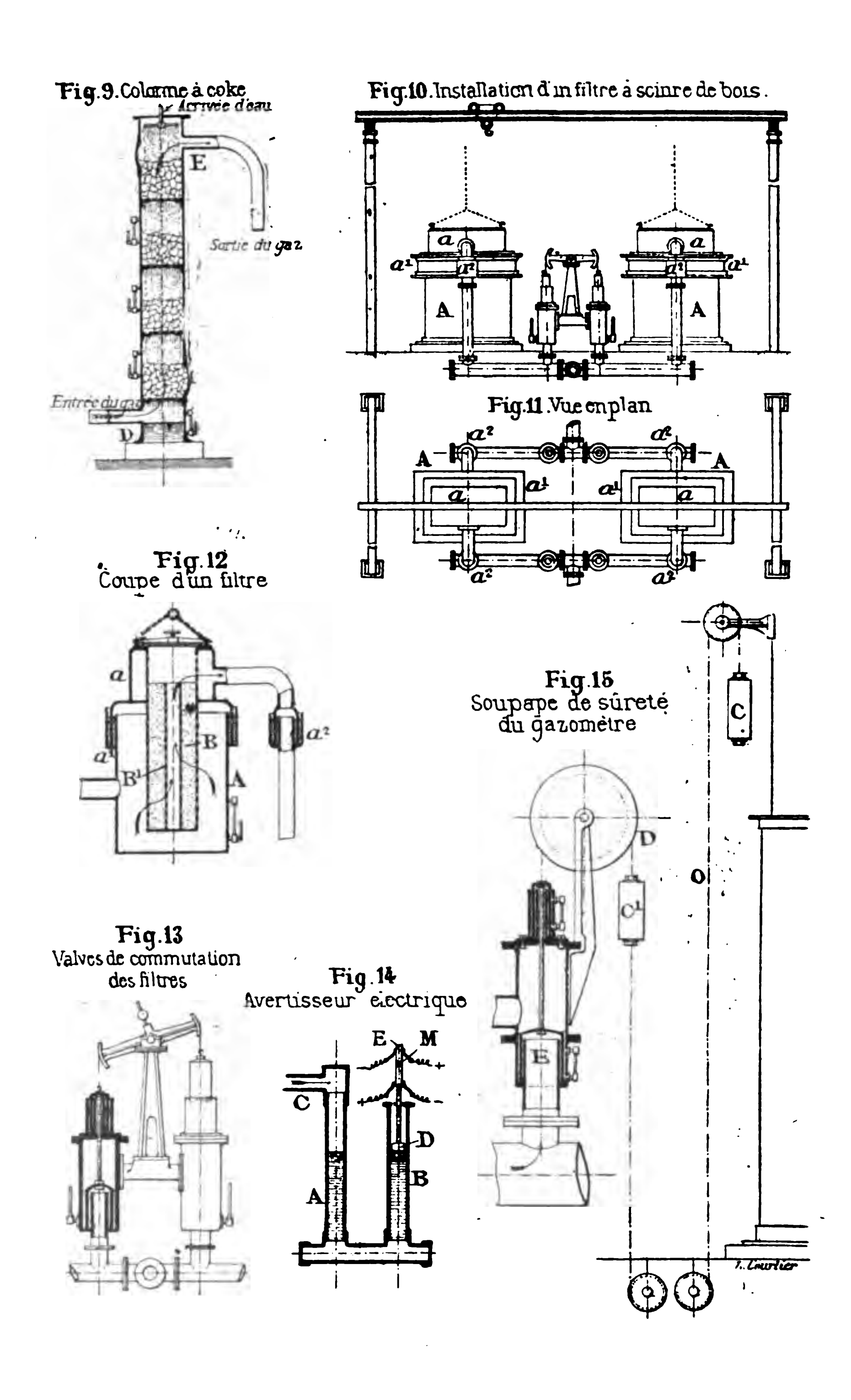
Cet appareil était destiné à fonctionner à sec et M. Thwaite l'avait même disposé de façon que des décharges électriques, d'une toile à l'autre, dans chaque tamis, attirent les poussières et les séparent des gaz.

A Outreau, le même appareil fonctionne, au contraire, dans une couche d'eau et les tamis ne sont secoués que de temps en temps et à la main.

Sortant du tamiseur, les gaz, comme on le voit dans la figure 1, traversent l'exhausteur, puis un appareil laveur représenté figures 6 et 7, où les gaz sont projetés verticalement suivant D à quatre reprises successives dans l'eau et un appareil refroidisseur, que la figure 8 suffit à expliquer. Enfin, les gaz aboutissent au scrubbers de la figure 9 ou les quatre étages sont visibles sur la coupe ainsi que les portes permettant le remplacement du coke.

A ce moment, le nettoyage doit être très avancé. Pour le parfaire, on a fait encore monter et descendre les gaz, à Outreau, dans une série de tuyaux d'orgues, qui sont fréquemment nettoyés par une chasse d'eau de haut en bas.

Il suffit, pour terminer le nettoyage, de faire traverser aux gaz un filtre très serré. Les figures 10, 11, 12 et 13, montrent l'éléva-


Fig. 9. Colonne à coke
Arrivée d'eau
E
Sortie du gaz
Entrée du gaz
D
Fig. 10. Installation d'un filtre à sciure de bois.
a
a
a¹
a¹
A
A
Fig. 11. Vue en plan
a²
a²
A
A
a¹
a¹
a
a
a²
a²
Fig. 12
Coupe d'un filtre
a
a¹
a²
B
B¹
A
Fig. 15
Soupape de sûreté du gazomètre
C
D
O
C¹
E
Fig. 13
Valves de commutation des filtres
Fig. 14
Avertisseur électrique
E
M
C
D
B
A

tion, le plan, la coupe de deux filtres jumeaux et la double valve de communication, d'un type analogue à celle de la figure 3, qui permet de passer alternativement dans l'un des deux filtres.

Ces figures sont suffisamment explicatives et l'on voit nettement, dans la coupe, comment la matière filtrante est serrée, entre deux cylindres percés de trous et autour desquels aboutissent les gaz, qui sortent par le cylindre intérieur.

De cette façon, la surface filtrante décroit au fur et à mesure du passage des gaz et de leur épuration, ce qui est parfaitement rationnel.

Je signalerai encore, à la figure 14, un avertisseur électrique, qui indique par une sonnerie le moment où le gazomètre est suffisamment rempli et, à la figure 15, une soupape de sûreté, qui interrompt l'arrivée des gaz en semblable occurrence.

A Outreau, pour ne pas interrompre le mouvement de l'exhausteur, la soupape de sûreté en fait communiquer par une conduite l'aval et l'amont, de sorte que les gaz tournent en un cycle fermé, sans aboutir au gazomètre et sans qu'il y ait lieu d'arrêter le ventilateur. Dès que la soupape de sûreté sera ouverte à nouveau, les gaz reprendront leur parcours normal.

On retrouve, ainsi que je l'ai dit, des appareils analogues dans les installations similaires. On peut donc ne pas les décrire, mais il convient cependant de signaler une famille d'appareils, où la force centrifuge est utilisée pour séparer les poussières en présence de l'eau.

Si les gaz sont animés d'un vif mouvement de rotation dans un cylindre, les matières tendent d'autant plus à s'écarter de l'axe que leur densité est plus considérable. C'est là une loi très fréquemment utilisée pour effectuer un triage. Et il faut remarquer que les poussières ont une densité environ 2000 fois supérieure à celle des gaz.

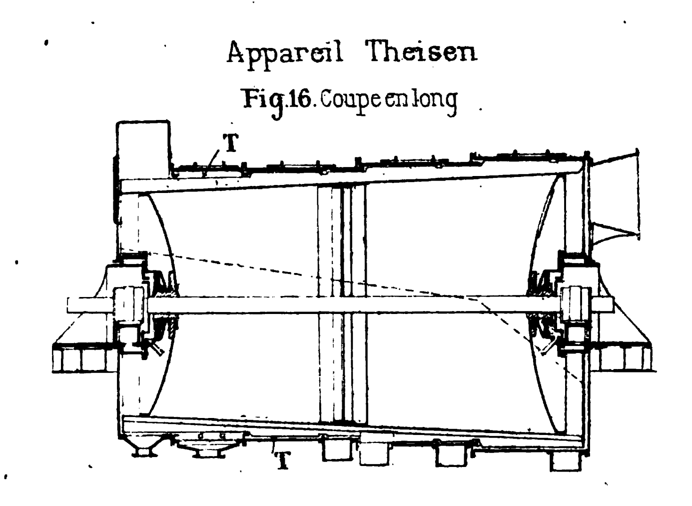
Plusieurs ont songé à employer un procédé semblable, M. Thwaite, M. Lencauchez; c'est M. Theisen qui semble avoir le premier construit un épurateur sur cette donnée. Les figures 16, 17, 18 montrent le détail de cet appareil.

Dans l'appareil Theisen, les gaz sont appuyés sur la paroi, où ils rencontrent une couche d'eau, que les poussières pénétrent et en quelque sorte filtrés au travers de la toile métallique.

Les poussières pénètrent dans l'eau, sous l'effort d'une pression qui est la force centrifuge. Elles pénétreraient peut-être plus

facilement, entraînées par leur force vive, si elles étaient projetées avec la vitesse acquise sous l'influence d'un effort continu.

C'est ce qui se produirait notamment dans un ventilateur, où les poûssières pénétreraient par les oules, acquiéreraient de la vitesse perpendiculairement à l'axe des ailettes et viendraient frapper la surface interne du ventilateur.



Appareil Theisen

Fig.16. Coupe en long

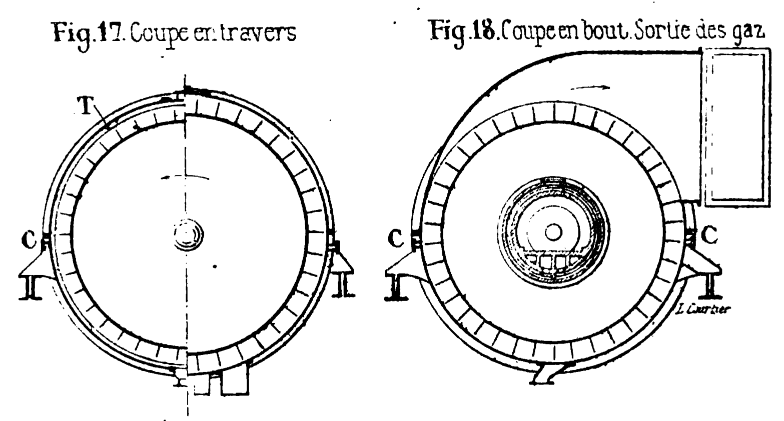


Fig.17. Coupe en travers — Fig.18. Coupe en bout. Sortie des gaz

T Toile métallique
C Canaux d'introduction de l'eau

C'est un dispositif de ce genre, qui a été simultanément essayé à Differdange, à Dudelange et Micheville.

Au lieu d'envoyer de l'eau à la périphérie, comme dans l'appareil Theisen, il a semblé plus pratique de faire pénétrer celle-ci, en même temps que le gaz, par les oules. On évite ainsi

l'influence destructive des poussières sur les palettes, l'eau se mélange mieux avec les poussières, avec lesquelles elle est projetée sur les parois.

L'usage a montré que l'effet de ces ventilateurs était très considérable.

A Differdange, un ventilateur, employant une puissance de 40 *ch*, suffit à un nettoyage assez complet, puisque les gaz y arrivent contenant environ 4 *g* de poussières par mètre carré et sortent n'en contenant plus que 0,2 *g*. Cet appareil tourne à 900 tours environ et l'eau y est abondamment fournie. Bientôt deux ventilateurs seront installés en tension, consommant environ 100 *ch*, ce qui sera peu onéreux pour une installation de semblable importance.

A Dudelange et à Micheville, les ventilateurs avec injections d'eau ne sont pas placés, ainsi qu'à mon avis il conviendrait, c'est-à-dire pour terminer l'épuration. Cela tient à ce qu'ils n'ont pas été installés pour le but qu'ils remplissent actuellement. C'étaient, au début, des exhausteurs, nécessaires à la progression des gaz, on y a introduit de l'eau et ce sont aujourd'hui d'excellents épurateurs. Ils sont placés, à Dudelange, entre deux groupes d'épurateurs et cependant, de fait, ils servent à rendre l'épuration parfaite, car le gaz, qui contient 5 *g* de poussières avant d'aboutir au scrubber à fibres de bois, n'en contient plus que 0,3 ou 0,4 *g* à son arrivée au ventilateur, qui réduit cette proportion à 0,1 *g*, ce qui constitue une épuration très suffisante.

Quand les gaz sont ainsi, en grande partie, nettoyés avant d'arriver au ventilateur, la quantité d'eau nécessaire devient beaucoup moindre, ainsi que la puissance consommée.

Le moteur électrique, qui actionne le ventilateur de Dudelange, est de 8 *ch* et suffit pour le gaz qui alimente un moteur de 1 600 *ch*.

A Micheville, le ventilateur, qui autrefois marchait à sec, est placé au début de l'épuration après un jeu d'orgue. Son action est parachevée par celle de trois scrubbers mixtes à coke et fibres de bois et d'un filtre à fibres et feutre.

Il semble, comme on l'a fait observer, que l'action de ces ventilateurs soit nécessaire avec les gaz sales des hauts fourneaux du grand-duché de Luxembourg.

M. Letombe essaye, en ce moment, à Marseille, un nouvel appareil du même genre, où les gaz sont séparés de leurs poussières par la force centrifuge en présence de l'eau et qui diffère de

l'appareil Theisen, en ce que les palettes ne donnent pas de propulsion aux gaz, dont le mouvement est produit, en cas de besoin, par un exhausteur. M. Letombe fait observer que cette disposition a l'avantage de permettre de donner à l'appareil la vitesse de rotation qui, après expérience, semble le mieux convenir, sans avoir à s'inquiéter de la différence de pression que les gaz prendraient à la sortie.

M. Lencauchez a fait breveter, de son côté, un appareil dans lequel plusieurs couronnes d'ailettes marchent en sens contraire, de façon que, d'une couronne à l'autre, les différences de vitesse soient plus considérables.

Ailleurs, les moteurs fonctionnent avec une épuration plus sommaire. A Hörde, il y a deux groupes, l'un de cinq, l'autre de 4 scrubbers et un appareil Theisen. Les gaz sortent des scrubbers ne contenant plus que 0,2 *g* de poussière et l'appareil Theisen réduit cette quantité de moitié.

A Oberhausen, l'épuration se fait uniquement au coke et à la sciure de bois. Il y a d'abord des scrubbers, remplis de coke en très gros morceaux, qui font un premier dégrossissage, puis ensuite des filtres à sciure de bois.

En résumé, l'épuration est nécessaire partout. Elle doit être très soignée pour le gaz destiné à être employé dans les moteurs, il semble même qu'elle doit être étendue à tous les gaz de haut fourneau. Il y a là un avantage capital pour ceux qui sont brûlés dans les chaudières, les fours et aux réchauffeurs d'air.

Évidemment les frais de première installation, sinon d'entretien, car ceux-ci sont très minimes, peuvent être onéreux; mais il est facile, semble-t-il, de les récupérer et les appareils Cowper, en particulier, verraient leur rendement et leur capacité croître très considérablement, s'ils recevaient des gaz purifiés. Il y aurait en face de la dépense d'installations d'épurateurs, à prévoir une économie sensible sur la construction et l'entretien des appareils Cowper.

Je n'ai pas parlé d'épuration chimique, qui joue un si grand rôle dans les gazogènes. C'est, en effet, que les hauts fourneaux sont à peu près tous alimentés au coke et que les gaz se composent presque uniquement d'oxyde de carbone, d'acide carbonique et d'azote. Il y a quelques traces d'hydrogène et presque

pas de carbure d'hydrogène. Partant, les dépôts de goudron sont peu à craindre, puisqu'il n'y a pas de gaz de distillation.

On s'inquiète généralement, avec le gaz de gazogènes de l'hydrogène sulfuré, qui a un si malheureux effet sur le métal à l'intérieur des moteurs et on l'arrête, en faisant traverser des oxydes de fer par les gaz dans les épurateurs. Il conviendrait probablement de prendre cette précaution pour les gaz de hauts fourneaux.

Dans beaucoup de publications il a été manifesté des craintes au sujet de la vapeur entraînée par les gaz.

D'abord, cette vapeur est retenue, en grande partie, dans les épurateurs et dans les gazomètres, d'où les gaz sortent à une assez basse température. Ensuite cette vapeur ne pourrait avoir pour effet que de diminuer le pouvoir calorifique des gaz. J'ai déjà dit mon opinion à ce sujet. Il y aurait là d'autant moins de mal que certains moteurs, comme le moteur Banki, ont dû leur succès précisément à l'introduction de la vapeur d'eau.

Une fois les gaz bien épurés, il faut des moteurs convenables pour les employer.

Certains de ces moteurs, comme les moteurs Cockerill, ont été construits spécialement pour les gaz de hauts fourneaux. Le moteur von Ochelhauser, inventé antérieurement, a été surtout étudié pour cette application et presque toutes les maisons importantes de construction ont cherché de leur côté à approprier leurs moteurs à ce combustible spécial.

Ce qui devait surtout attirer l'attention, ce sont les organes qui ont le plus à souffrir des dépôts de poussière, c'est-à-dire les soupapes, le cylindre et les segments du piston.

Pour ces derniers, il semble qu'il suffit de rendre plus abondant le graissage et, à Differdange notamment, on a pu observer combien les quantités d'huile consommée variaient dans de grandes proportions avec l'état de propreté des gaz.

Pour les soupapes, on a cherché dans les moteurs à 2 temps à les supprimer; les moteurs von Ochelhauser n'en ont pas et, dans le moteur Koerting, il y a bien des soupapes d'admission, mais il n'y a pas de soupape de refoulement.

Il faut, en effet, remarquer que la soupape d'admission n'a pas à souffrir des poussières. Les gaz, qui y pénètrent, sont froids et, par leur mouvement rapide, nettoient le siège de la soupape.

Au contraire la soupape de refoulement est incommodée des dépôts de poussière, qui se sont produits pendant l'explosion, d'autant plus qu'elle tend à s'échauffer, ainsi que son siège, puisque les gaz, en marche normale, la traversent à des températures d'environ 500 degrés et, quand l'explosion se fait irrégulièrement, à une température bien plus élevée.

Aussi, dans beaucoup de moteurs, on a songé à refroidir la soupape d'échappement par une circulation d'eau et, en tous cas, à bien protéger les parties frottantes de la tige de la soupape.

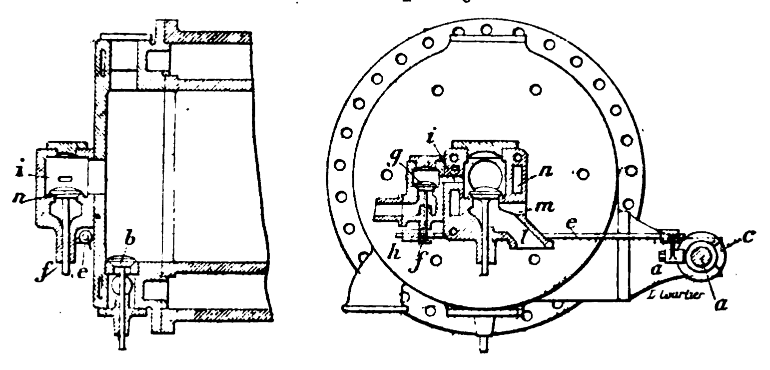
On a songé aussi à placer les soupapes, l'une par rapport à l'autre, de façon que les gaz de l'échappement ne viennent pas déposer leurs poussières sur les soupapes d'admission et que, si un dépôt de poussière est fatal dans la culasse, celle-ci se dépose plutôt à proximité de la soupape d'échappement, par où les gaz l'entraînent hors du moteur.

On a songé à faciliter cet entraînement par une chasse d'air. C'est une idée qui n'est pas nouvelle et dont les avantages me semblent très discutables.

Cette chasse d'air est, en tous cas, fort onéreuse parce qu'elle nécessite une pompe de compression.

Il y a cependant lieu de signaler un dispositif breveté par MM. Thwaite et Mensforth et représenté *fig. 19*.

Fig. 19.
Moteur Thwaite et Mensforth pour gaz des hauts-fourneaux



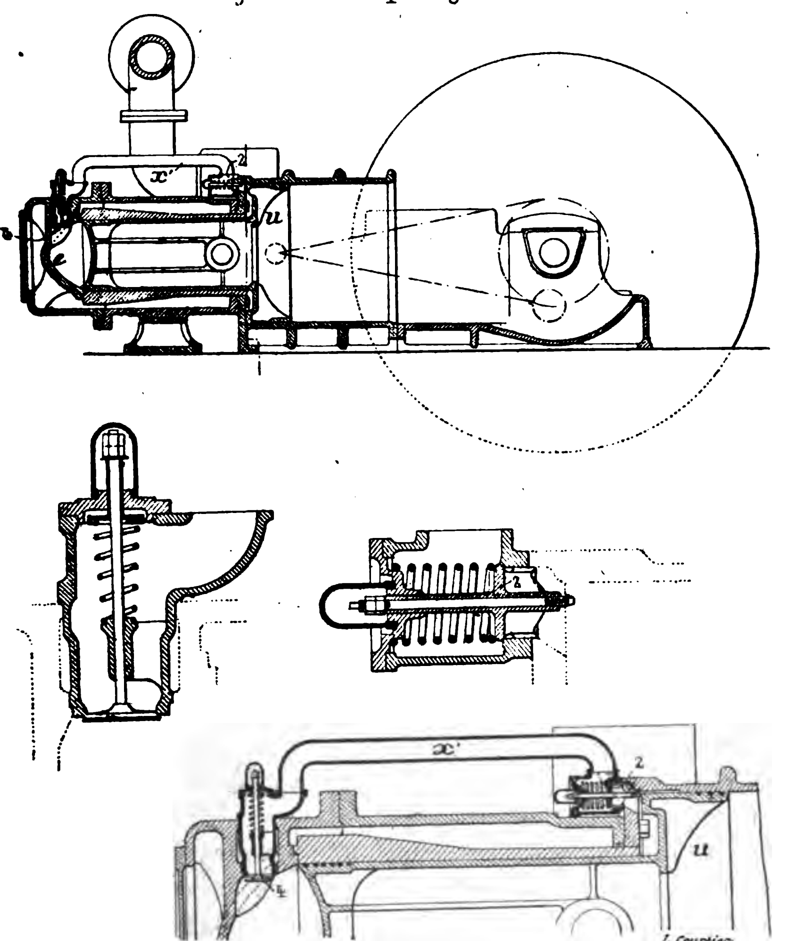
L'idée est fort ingénieuse. Elle consiste à faire appel à la soufflerie du haut fourneau. L'air entre par *l*, le gaz par *m*, le mélange par la soupape *n*, puis une soupape auxiliaire *g*, soulevée

par la transmission *cdef*, actionnée par l'arbre *a*, laisse entrer une chasse d'air à la fin de l'échappement, dans le cylindre par *hgi*.

La maison Crossley a fait breveter un moteur au gaz de haut fourneau où un piston spécial annulaire *u* (*fig. 20*) aspire pen-

Fig. 20

Moteur Crossley et Atkinson pour gaz de hauts fourneaux.

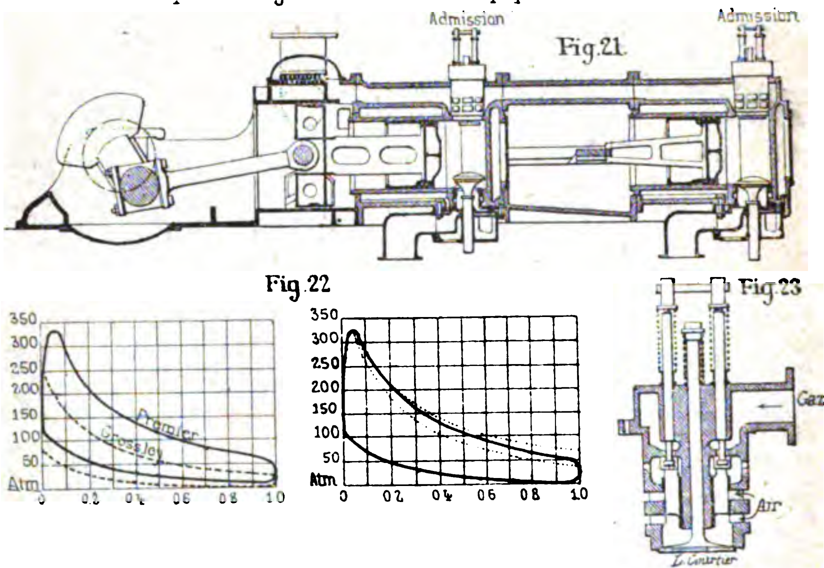


dant la course motrice et, au retour, comprime cet air dans une conduite 2 où il pénètre par une soupape automatique *x*, et qui, elle-même, communique, avec le cylindre moteur *e*, par une autre soupape automatique 4.

Il est facile de comprendre que la pression baisse constamment dans le cylindre pendant l'échappement et s'élève aussi constamment derrière le piston auxiliaire de la pompe. Il arrive nécessairement un moment, où la soupape automatique se lève et où l'air de la pompe traverse le cylindre en produisant une chasse d'air.

Je signalerai encore le moteur Premier, dont la coupe est représentée *fig.* **21** et le détail d'une soupape *fig.* **23**. Dans ce mo-

Fig. 21 et 23. Moteur à gaz Premier de 500 chevaux
Coupe en long et détail d'une soupape d'admission.



teur, comme dans le précédent, la tige du piston moteur porte un piston compresseur. Dans la figure, deux pistons moteurs sont réunis en tandem et, pour deux pistons moteurs, il n'y a qu'un seul piston compresseur.

La disposition est excellente à plusieurs points de vue D'abord, comme le moteur Crossley, le piston-compresseur fait fonction de glissière, ce qui est très avantageux pour le bon entretien du moteur et est d'autant meilleur que ce piston ne supporte jamais de haute température comme les pistons moteurs.

En outre, comme il y a une compression par tour, les gaz comprimés soulèvent une soupape automatique et font une

chasse une fois par tour alternativement derrière chaque piston-moteur.

On voit, au-dessus de la figure, une chambre, en dehors de la water-jackett, où se rend l'air comprimé entre les deux premiers pistons, qui forment ainsi pompe différentielle. Cet air pénètre de l'extérieur par des orifices, que le premier piston découvre, dans sa marche en avant.

La compression serait de 350 *g*, s'il n'y avait pas communication par la soupape automatique représentée dans la *fig.* 23 avec le cylindre pendant le refoulement. Cette communication se fait environ à la pression de 140 *g* et l'on évalue à trois fois et demie le volume de la chambre de compression, celui de l'air qui fait ainsi une chasse et balaye le cylindre.

Au retour du piston, qui correspond à la période d'admission du cylindre moteur, il y a ainsi une charge d'air dans la chambre de compression. La soupape de la *fig.* 23 admet encore de l'air, mais un levier, mû par une came, ouvre la soupape à gaz, plus ou moins suivant l'influence du régulateur, et celui-ci se mélange à l'air avant de traverser la soupape.

Ce moteur très remarquable a été employé jusqu'ici surtout aux gaz des gazogènes Mond. Il n'a pas encore été essayé, à ma connaissance, pour les gaz de haut fourneau; mais il y convient parfaitement bien, car les préoccupations, qui en ont dirigé la construction, sont absolument les mêmes.

M. Humphrey, qui a fait des expériences sur ces moteurs, a obtenu, comme rendement en travail indiqué, 32,65 0/0.

C'est un chiffre très élevé, mais il faut tenir compte que le gaz a été évalué avec le pouvoir calorifique minimum et que le rendement organique est toujours très défectueux quand il y a à déduire la consommation d'une pompe à air.

Il y a encore à signaler l'allumage des moteurs à gaz de hauts fourneaux. Il se fait exclusivement par l'électricité, l'influence des poussières étant trop à craindre sur les tubes incandescents.

Cependant, dans le moteur Hartley, que M. Thwaite adû transformer pour ses essais, l'allumage se fait avec un chalumeau alimenté par les gaz mêmes de hauts fourneaux.

Une autre difficulté se présentait encore pour l'emploi des gaz de hauts fourneaux. Il fallait, en effet, prévoir des groupes de

très haute puissance et les moteurs, qui existaient en 1894 et 1895, ne dépassaient pas individuellement 100 à 200 *ch*.

On a du examiner par quels procédés on pouvait chercher à construire des moteurs plus puissants.

Fallait-il augmenter le diamètre des cylindres? c'est ce que toutes les maisons de construction ont cherché à faire, les unes avec une grande audace, d'autres avec beaucoup de prudence.

Il faut bien considérer, que les moteurs à gaz sont en général à simple effet et qu'il y a, dans chaque cylindre, une course motrice pour deux tours de l'arbre moteur, c'est-à-dire quatre fois moins que dans une machine à vapeur. En outre, la pression moyenne dans un cylindre d'un moteur à gaz n'est pas supérieure à la pression dans une machine à vapeur. Elle ne dépasse guère 5 *kg*, tandis que la pression maxima atteint facilement 30 et 35 *kg* et se produit brusquement. Enfin les gaz développent de très hautes températures, qui produisent dans les cylindres des dilatations forcément inégales et provoquent des fentes.

Pour toutes ces raisons, la recherche des grands cylindres est particulièrement dangereuse. J'en ai signalé une autre dans le compte rendu des Moteurs à gaz de l'Exposition de 1900 (1), en faisant appel à la merveilleuse loi de similitude de J. Bertrand, et en montrant que, entre deux moteurs semblables, au sens mécanique du mot, on avait la relation :

$$\frac{\mu\lambda}{\tau^2} = \varphi.$$

Entre les paramètres représentant les rapports de masse, de longueur, du temps et de forces.

Il fallait admettre, d'une part, que le rapport $\frac{\mu}{\lambda^3}$ était une constante, puisque l'on employait le même métal, et, d'autre part, que le rapport $\frac{\varphi}{\lambda^2}$ était aussi une constante, puisque la pression spécifique avait la même valeur avec le même mélange combustible dans un petit moteur et dans un grand. J'en ai conclu que le rapport $\frac{\lambda^2}{\tau^2}$ devait lui-même être constant, ce qui se vérifie d'une façon étonnante en considérant la vitesse du piston, dont ce rap-

(1) *La Mécanique à l'Exposition*, 4ᵉ livraison : *Les moteurs à gaz, à pétrole et à air comprimé.*

port est le carré, et qui, à très peu de chose près, atteint la même valeur moyenne de 4 mètres dans les plus grands moteurs fixes et dans les plus petits moteurs d'automobiles.

Il résulte de ces considérations que, la puissance étant proportionnelle à λ^2, l'encombrement en plan est proportionnel à la puissance, et que, par suite, deux moteurs de moyenne puissance ne doivent pas occuper plus de place dans une usine qu'un moteur semblable de puissance double, tandis qu'au contraire celui-ci doit avoir le poids de ses pièces mobiles proportionnel à λ^3, et celui des pièces fixes, voisin de cette proportion. Aussi peut-on en conclure que, si, d'une façon générale, deux petits moteurs de 10 *ch* par exemple, coûtent plus cher qu'un moteur de 20 *ch*, parce que la main-d'œuvre est plus considérable et que, dans les moteurs de faible puissance, on ne cherche pas une stricte économie dans la dépense matière, et en particulier, qu'on les fait tourner à une vitesse très inférieure à celle qui devrait être leur vitesse de régime, la proportion se modifie complètement lorsque l'on construit des moteurs de très haute puissance, où l'on cherche à faire des économies de matière, à faire travailler au maximum les organes et où les grandes pièces deviennent d'un travail très onéreux.

On peut donc avoir de très bons motifs pour chercher à augmenter, autant que possible, le diamètre des cylindres des moteurs à gaz, et les résultats obtenus par la maison Cockerill sont très heureux à bien des points de vue ; mais, en général, il faut procéder, dans cette voie, progressivement, au fur et à mesure de l'amélioration des machines-outils et des procédés de fabrication des grandes pièces de machine, faute de quoi l'on doit craindre de faire des machines onéreuses et d'un fonctionnement incertain.

On est d'ailleurs arrivé à construire de fort grands cylindres, car les moteurs Cockerill atteignent, avec le gaz de haut fourneau, une puissance de 575 *ch* par cylindre. Il serait peut-être sage de compter 500 *ch* en marche industrielle. Or, il semble généralement admis, maintenant, qu'il y a tout intérêt à faire des moteurs à deux ou 4 cylindres, ce qui représenterait des unités de 1 000 à 2 000 *ch*.

Ces puissances sont très suffisantes. Car, dans les hauts fourneaux d'Europe, il ne semble pas qu'il y ait lieu de prévoir des stations de force motrice de beaucoup plus de 6 000 à 8 000 *ch* et il y a tout intérêt à ce que ces stations soient formées d'un assez grand nombre d'unités.

En effet, les moteurs à gaz ne sont pas dans la même situation que les machines à vapeur, dont le rendement croît avec la puissance. Dans ceux-là, au contraire, au delà d'une puissance assez restreinte, le rendement ne croît plus.

On pouvait espérer aussi que, plus le cylindre serait grand, plus réduite serait la perte aux parois, dont la surface diminue par rapport au volume du cylindre.

Il n'en est pas ainsi. Les grandes machines nécessitent un refroidissement tout particulier et consomment, par cheval-heure, plus d'eau que les plus petites.

D'autre part, les moteurs à gaz ont un rendement d'autant meilleur qu'ils marchent à charge plus complète. Là aussi, c'est le contraire de ce qui se produit dans les machines à vapeur. Il y a donc intérêt, dans une station de force motrice produite par des moteurs à gaz, à ne faire marcher que strictement le nombre d'unités nécessaires.

Pour créer les moteurs de haute puissance, en outre de la réunion de deux, trois et surtout quatre cylindres à simple effet, qui permet d'augmenter la régularité de la machine et de diminuer les poids des volants, de réduire l'encombrement et d'équilibrer les réactions des pièces en mouvement, on a songé à faire des moteurs à effets multiples.

On en a construit, en mettant deux pistons en tandem, tels que le moteur Premier, que je viens de décrire, d'autres, en actionnant le piston dans un même cylindre, sur deux faces. Je montrerai ainsi le moteur Koerting. Enfin, dans le moteur Letombe, on peut voir à la fois les deux procédés employés, et il existe même des moteurs à quatre effets, ayant deux pistons en tandem actionnés à la fois sur leurs deux faces.

Ces différentes variétés de moteurs à effets multiples sont très avantageuses pour réduire l'encombrement. La disposition des deux pistons en tandem, fonctionnant à simple effet, présente, encore, un avantage considérable par rapport aux réactions, qui agissent de la même manière que dans les moteurs à deux temps à simple effet et dont je parlerai plus loin. On leur reproche une grande difficulté d'exécution et de conservation, par suite, notamment, de l'usure inégale des segments des deux pistons. Dans les moteurs à double effet, c'est l'échauffement du piston qui est sérieusement à craindre.

On a pu encore doubler la puissance d'un moteur d'un alésage déterminé, en remplaçant le cycle habituel à quatre temps, par

un nouveau cycle à deux temps permettant une impulsion par tour.

Il y a là une transformation qui semble du plus grand avenir et j'y reviendrai avant de décrire les moteurs de ce type.

Je dirai encore quelques mots de la mise en marche des moteurs, qui avait semblé, au début, une opération très difficile.

De fait, les stations centrales de force tendent, de plus en plus, à être des génératrices d'électricité, où les groupes sont divisés en plusieurs unités et, dans ces conditions, la solution la plus simple, pour la mise en marche d'une unité, est de faire fonctionner les dynamos comme réceptrices, jusqu'à ce que le moteur ait fait deux tours et qu'une explosion se soit produite.

Autrement, divers procédés ont été employés.

On peut comprimer, derrière le piston, un mélange riche, d'essence de pétrole, par exemple, obtenu avec un carburateur Longuemare et l'allumer; c'est le procédé employé pour les moteurs Cockerill.

L'explosion est brutale et ne réussit pas toujours à entraîner le volant; aussi, dans les moteurs Crossley, préfère-t-on produire une explosion dans une chambre annexe plus vaste et communiquant avec le cylindre moteur.

La maison Otto installe, auprès de ses grands moteurs, un petit moteur auxiliaire avec compresseur d'air préparant une réserve d'air comprimé, qui pénètre, pour la mise en marche, dans le cylindre, au moyen d'une soupape et d'une distribution spéciale.

Enfin, à Outreau, M. Thwaite se sert aussi d'un petit moteur auxiliaire, mais avec lequel il entraîne le volant par friction.

Il faut remarquer encore que les grands moteurs actuellement construits en Europe sont tous horizontaux; au contraire, les moteurs Westinghouse construits aux États-Unis sont verticaux. Il semble qu'il y a de précieux avantages à l'un et l'autre type et que, pour les moteurs à grande vitesse, notamment, le type vertical convient le mieux. Les moteurs horizontaux s'ovalisent plus facilement.

MM. Bailly et Kraft, ingénieurs aux usines de Seraing, ont cherché, dès 1895, à construire un moteur à gaz de grande puissance pour haut fourneau. Ils ont d'abord recherché quel était, à cette époque, le moteur qui se rapprochait le plus des conditions désirées et ont porté leur choix sur le moteur Simplex de

M. Delamarre-Deboutteville, qui était le plus grand moteur monocylindrique actuellement construit, et fonctionnait au gaz pauvre.

Après différents essais avec un moteur de 8 chevaux, et ensuite avec un moteur de 200 *ch*, ils ont enfin construit un moteur de 500 *ch* environ, qui a donné 575 *ch* à des essais faits par le professeur Hubert de Liège, en marchant à pleine charge.

Je serai bref en parlant de ce moteur, qui était exposé avec une soufflerie à l'Exposition Universelle de 1900 et duquel beaucoup de comptes rendus ont été publiés. Ce moteur est remarquable par ses très grandes dimensions ; le cylindre a, en effet, 1,30 *m* de diamètre, ce qui est considérable, même pour un cylindre de machine à vapeur et le piston a une course de 1,40 *m*.

Sauf ces dimensions extraordinaires, qu'il a été très difficile de réaliser et qui ont nécessité toute une série de dispositifs ingénieux, notamment pour le refroidissement du piston, de la tige creuse du piston, de la soupape d'échappement, qui est de très grande dimension et, sans cette précaution, se serait certainement gauchie, ce moteur ne présente pas de particularité saillante et est semblable à tous les moteurs Otto ancien type.

On y a conservé le mode de régulation par tout ou rien, qui n'est pas heureux pour la régularité de la marche. Il est vrai que celle-ci est d'importance secondaire, quand le moteur sert uniquement à actionner une soufflerie, ce qui est le cas de la plus grande partie des moteurs Simplex-Cockerill, qui ont été employés aux hauts fourneaux.

Il paraît d'ailleurs que le Creusot, la Société Alsacienne et les anciens établissements Cail, qui sont concessionnaires des brevets en France, préparent des moteurs du même type, avec régulation par variation progressive de la charge.

Hors cette critique, les moteurs Cockerill semblent avoir bien fonctionné, lorsque les gaz, qui leur ont été fournis, ont été bien épurés.

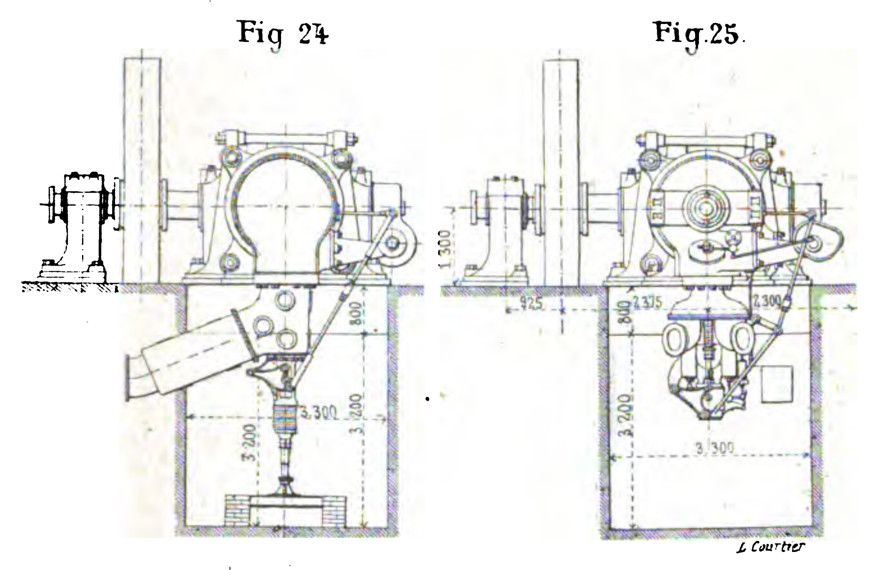
A Differdange, où il y a neuf moteurs de cette firme, il y a eu une période assez longue de déception, parce que l'on avait cru que ces moteurs pourraient fonctionner là, avec des gaz presque non épurés comme à Seraing. Mais la proportion de poussière était bien différente. A Seraing les gaz en sont fort peu chargés et, après un long trajet dans de larges conduites et un lavage sommaire, ils ne contiennent plus guère que 0,25 *g* tandis qu'à Differdange ils arrivaient en moteur avec 2 ou 3 *g* par m^3.

Depuis que le nettoyage des gaz est fait avec un appareil centrifuge, qui laisse à peine 0,2 *g* de poussière par *m*³, les moteurs ne demandent plus qu'un arrêt par semaine pour leur nettoyage.

La consommation moyenne par cheval-heure effectif est évaluée à Differdange à 3,1 *m*³ de gaz, d'un pouvoir calorifique estimé environ à 950 calories.

La quantité d'eau dépensée est, en moyenne, de 60 à 65 *l* par cheval-heure, dont 10 *l* sont employés aux pistons et aux soupapes. Elle est fort élevée.

Les figures 24 et 25 montrent l'élévation de la soupape de re-



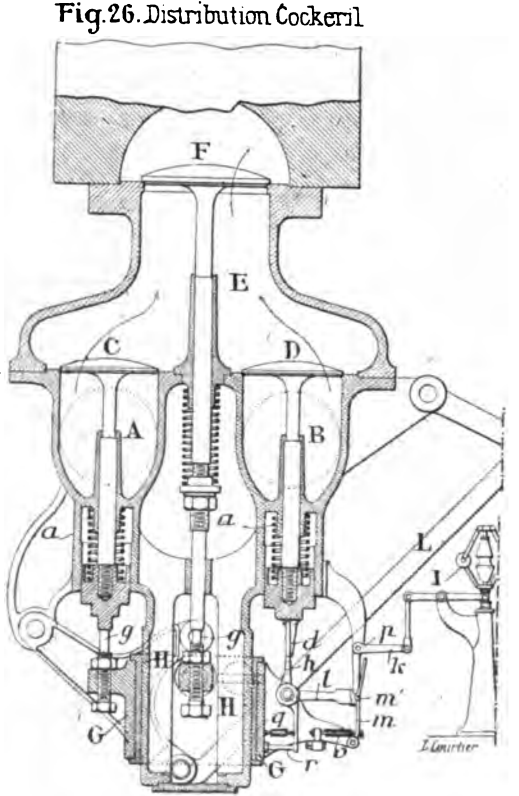
foulement et de celle des soupapes d'admission. La soupape de refoulement est, comme celle de tous les moteurs Otto, soulevée par une tige guidée commandée par un levier actionné par une came, calée sur un arbre auxiliaire et un fort ressort à boudin, fixé au sol, appuie cette soupape sur son siège. L'effort de ce levier est très considérable, à cause des dimensions de la soupape et de la pression assez élevée, que conservent parfois les gaz, à la fin de la course motrice.

La soupape d'admission, dont la figure 26 montre la coupe, est triple. Une soupape C livre passage à l'air venant de l'extérieur; une soupape D, de dimensions analogues, permet aux gaz de s'introduire et le rapport des sections de ces deux soupapes est établi de façon à ce que les gaz pénètrent dans la proportion nécessaire aux réactions chimiques qui doivent se produire.

A Seraing, pour 1 m^3 de gaz, on admet 0,8 m^3 d'air.

D'ailleurs, là comme partout, une vanne de réglage permet de corriger légèrement cette proportion, et à Differdange on a supprimé la soupape d'air, pour laisser libre passage à un retour de flamme éventuel, au cas d'allumage prématuré.

Fig. 26. Distribution Cockeril



Le mélange de l'air et du gaz se fait ainsi sous une troisième soupape F, qui lui donne accès dans la culasse du moteur.

Les trois soupapes sont solidaires, sauf toutefois, ainsi que la figure 26 le montre, que le régulateur I peut, par l'intermédiaire d'une transmission *k*, *p*, *m*, *m'*, *q*, *r*, *l*, *h*, interrompre le fonctionnement de la soupape à gaz et ne laisser, dans les passages à vide, pénétrer que de l'air froid dans le cylindre, ce qui est d'ailleurs détestable pour le rendement.

Cette soupape d'admission est à l'extrémité de la culasse, dont la surface supérieure a une forme de demi-obus. La soupape d'échappement est placée entre la soupape d'admission et le

piston. De cette façon les poussières, qui viennent de la soupape d'admission, sont projetées sur les parois de la culasse, ont tendance à tomber autour de la soupape d'échappement et sont entraînées ainsi par le reflux des gaz.

Différents moteurs, type Otto comme le précédent, ont été essayés avec le gaz de haut fourneau, notamment le moteur Acmé par M. Thwaite et le moteur Hartley, ainsi qu'en Allemagne des moteurs de la Berlin-Anhaltische Maschinbau A. G. dont différents spécimens ont donné des résultats excellents, notamment à Differdange et à Hörde.

La Gasmotoren Fabrik de Deutz a fourni un nombre considérable de moteurs de haute puissance transformés en vue de l'emploi des gaz de hauts fourneaux et la Compagnie française des moteurs Otto a fait une installation à Micheville assez importante et en prépare plusieurs en France et en Espagne.

Tous ces moteurs Otto sont très remarquables en l'espèce, en ce qu'ils n'ont donné lieu à aucun mécompte. Ce sont, au contraire, les installations comme celles de Dudelange, ou celle de la Gutehofnungshutte, à Oberhausen, qui ont fonctionné avec, il est vrai, une épuration suffisante, mais, en tout cas, sans incident, ce qui est capital.

A Dudelange, on arrête les machines tous les dimanches. On retire l'allumage, que l'on nettoie. C'est l'affaire de quelques instants et il suffit, en outre, d'un nettoyage plus complet des moteurs tous les deux mois environ, pour que le fonctionnement soit parfait.

Tous les moteurs de la maison Otto sont à deux et le plus souvent à quatre cylindres opposés deux à deux et reliés au même bouton de manivelle.

L'élément le plus généralement employé est de 150 ou 250 *ch* et les unités sont ainsi de 600 ou 1 000 *ch*.

M. Müntzel, Ingénieur en chef de la Gasmotoren Fabrik, estime qu'il ne convient pas actuellement de dépasser cette puissance élémentaire.

Le type de quatre cylindres, fournissant deux explosions par tour, également espacées, permet d'employer des volants de dimensions réduites et d'avoir un ensemble parfaitement équilibré.

La compression dans ces moteurs est fort élevée et atteint jusqu'à 9,5 *kg*.

Ce qui distingue les moteurs de la maison de Deutz, c'est la régulation par variation des quantités de gaz introduites, au moyen d'une came oblique.

Dans ces moteurs, comme dans tous autres, une vanne réglable à la main peut modifier, suivant les circonstances, la pression de l'air admis, par l'étranglement de la conduite; mais le gaz lui-même vient se mélanger à l'air, par l'intermédiaire d'une soupape, dont la levée, plus ou moins grande, modifie les proportions du mélange admis.

Cette levée est produite, comme toujours, par l'intermédiaire d'un levier s'appuyant sur une came, mais cette came est à profil variable et peut coulisser sur l'arbre de distribution, par l'influence du régulateur, qui, ainsi, introduit plus de gaz quand la vitesse du volant tend à se réduire, ou appauvrit le mélange quand elle tend à augmenter.

La maison Otto vient de créer un type nouveau dont les figures 27, 28, 29, représentent le détail.

La figure 27 montre, en coupe, la forme générale de la culasse et la disposition des soupapes.

On y remarque combien le moteur est disposé pour une forte compression et combien les soupapes sont soigneusement protégées contre toute cause d'échauffement. Elles sont entourées d'une épaisse chemise d'eau.

Les soupapes sont opposées et la figure 28, coupe transversale, en montre nettement la disposition. La soupape d'admission est au-dessus de la soupape d'échappement. Cette position la protège contre les dépôts de poussières, qui naturellement seront entraînées à l'échappement. On peut remarquer, sur la figure, que la tige de la soupape d'admission est rappelée par un ressort I intérieur guidé par une coulisse et un petit piston et actionnée par un levier J, entraîné par une tringle, sous l'action d'une came fixe calée sur l'arbre de distribution. L'air aboutit en V au-dessus cette soupape venant d'une conduite X dans laquelle une valve, réglable à la main, est figurée et y parvient par une série d'ouvertures horizontales.

Dans l'air, les gaz viennent se mélanger, d'une chambre annulaire supérieure W par une série de lumières verticales et aboutissent à cette chambre, grâce à une soupape figurée en S à gauche, dessinée sur la figure 28, où l'on voit, en ponctué, les leviers qui l'actionnent et qui sont eux-mêmes soulevés par la came oblique, sur laquelle un galet vient appuyer.

Ainsi, quand la soupape s'abaisse, le mélange modifié, d'une part, par l'action du régulateur agissant sur le gaz, d'autre part, par celle de la vanne de réglage, vient aboutir à la chambre de combustion.

L'on voit, sur la figure 28, une petite soupape horizontale K, qui sert à la mise en marche par l'air comprimé ; elle est

Fig. 27

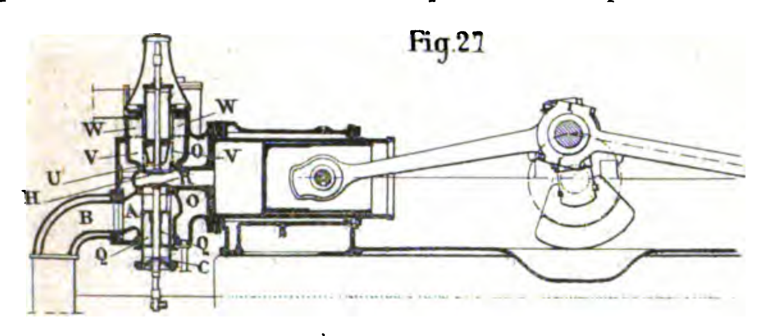
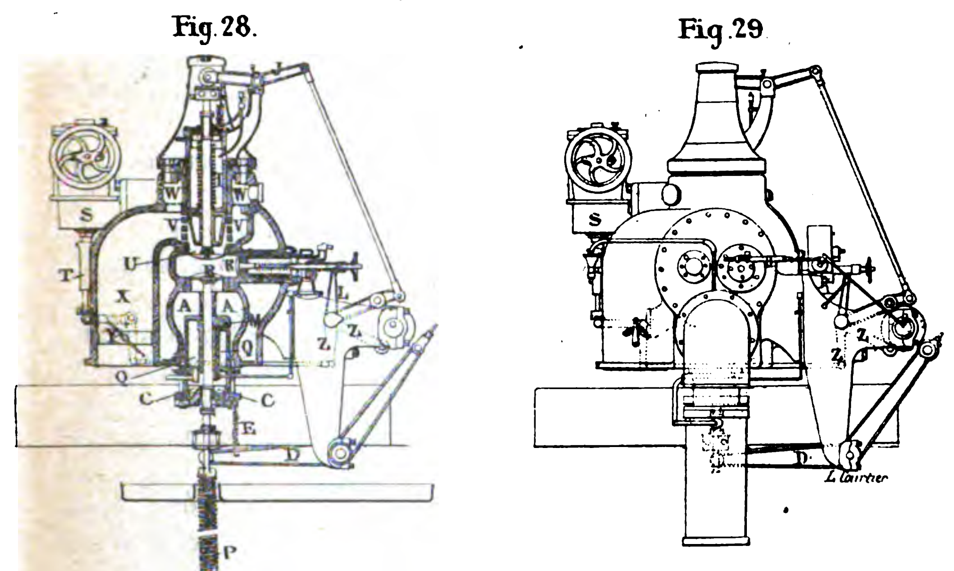


Fig. 28. Fig. 29



manœuvrée par un levier L, appuyé sur une came, et une vis à l'extrémité de la tige permet de la bloquer.

Les figures 27 et 28 montrent encore le détail de la soupape d'échappement qui est guidée par une glissière soigneusement refroidie par une enveloppe d'eau Q et aussi éloignée que possible du siège de la soupape.

Dans cette soupape, bien différente de la soupape de l'admission, le ressort de rappel P est à l'extérieur et la tige est soule-

vée par l'action d'un levier D déplacé par une came, calé sur le même arbre de distribution.

La figure 29 montre l'élévation en bout et notamment le dispositif de l'allumage électrique commandé par une tringle et un déclic.

Les pistons de ces moteurs Otto sont guidés par des segments du côté de la chambre de compression et par des anneaux de métal antifriction à l'autre extrémité.

Le moteur Letombe commence seulement à être appliqué aux gaz de hauts fourneaux, il fonctionne déjà pour une installation aux gaz de fours à coke de Lens et va être installé à Outreau, aux hauts fourneaux de Marseille et en Espagne. J'en parlerai d'une façon brève, parce qu'il a déjà été décrit dans la conférence de M. Leroux, sur les moteurs de l'Exposition.

Il présente une double particularité.

D'une part, il est à triple effet. Un premier piston agit par ses deux faces et est réuni en tandem avec un second piston, qui forme en quelque sorte glissière, sur lequel s'articule la bielle motrice.

D'autre part, le mode de régulation est très ingénieux et particulièrement heureux pour l'emploi des gaz pauvres.

M. Letombe régularise, comme Otto, en variant par une came, ou plutôt par un jeu de cames en gradin, les proportions du mélange.

Mais, en outre, il modifie, à chaque position variable du régulateur, la compression du mélange, suivant une loi empirique, de façon que la compression croisse avec la pauvreté du mélange et que l'explosion se fasse ainsi toujours dans les meilleures conditions.

Pour obtenir ce résultat, il faut faire varier, par le régulateur, à la fois la quantité d'air et la proportion de gaz admise à chaque aspiration et, d'autre part, il fallait éviter un double jeu de cames qui aurait rendu la distribution bien trop compliquée.

Par un procédé ingénieux, la levée même de la soupape d'air entraîne celle de la soupape à gaz, suivant que la tige de la première soupape est plus ou moins soulevée.

Aussi suffit-il que le profil des cames soit disposé de telle sorte, que, pour marcher en puissance réduite, la levée de la soupape à air soit suffisante pour permettre l'admission de l'air pendant une longue période, la came ayant une saillie le long

d'un arc étendu, mais ne soit suffisamment élevée pour entrainer l'ouverture de la soupape à gaz que pendant un temps court. On obtient ce résultat en donnant à la came une saillie plus forte mais seulement suivant un arc très peu étendu.

Dans ces conditions, il est admis à la fois beaucoup d'air et peu de gaz. Quand le piston fera retour, le mélange détonnant sera fortement comprimé, l'explosion se fera dans de bonnes conditions, malgré la pauvreté du mélange.

Cette disposition du moteur permet, en outre, de donner aux gaz une détente prolongée, puisque le volume admis à la pression atmosphérique n'est pas nécessairement celui de la cylindrée.

Les figures 30 et 31 montrent un semblable moteur Triplex, la coupe en long du cylindre à double effet et une coupe des soupapes d'admission du cylindre et des détails des soupapes d'admission et de refoulement. On voit, en A, la soupape d'admission du mélange, en B, celle qui permet l'introduction de l'air par *n*, et dont la tige prolongée soulève la soupape G, par laquelle le gaz pénètre par le conduit *m*.

Le mélange traverse la chambre C, pour pénétrer dans le cylindre, et cette chambre, assez vaste, présente l'avantage de diminuer la dépression dans le cylindre moteur, lorsque l'on marche avec du mélange riche et que, par suite, l'on doit rechercher une faible compression en introduisant une cylindrée incomplète de mélange tonnant.

On voit encore, dans ces détails, la disposition des cames en gradin et un diagramme, où est figurée la dépression correspondant à la marche à détente prolongée.

Parmi les constructeurs de moteurs à quatre temps, la plus grande partie des maisons s'efforcent, en ce moment, de transformer leurs moteurs pour la marche au gaz de haut fourneau. Je signalerai seulement les moteurs Westinghouse, dont la figure 32 montre l'ensemble et la coupe des soupapes.

Outre qu'ils sont verticaux, ces moteurs sont curieux, en ce qu'ils ressemblent étonnamment aux moteurs d'automobiles les plus connus. Ils se construisent assez fréquemment à trois cylindres, dont les pistons manivelles sont calés à 120°.

Il parait qu'une installation de ces moteurs au gaz de hauts fourneaux se poursuit actuellement en Amérique, avec des unités de 1 500 *ch*.

Il me reste à parler d'un nouveau type de moteurs, que l'on intitule moteurs à deux temps, parce qu'il y a une explosion à chaque tour de manivelle pendant deux courses du piston.

Moteur Letombe

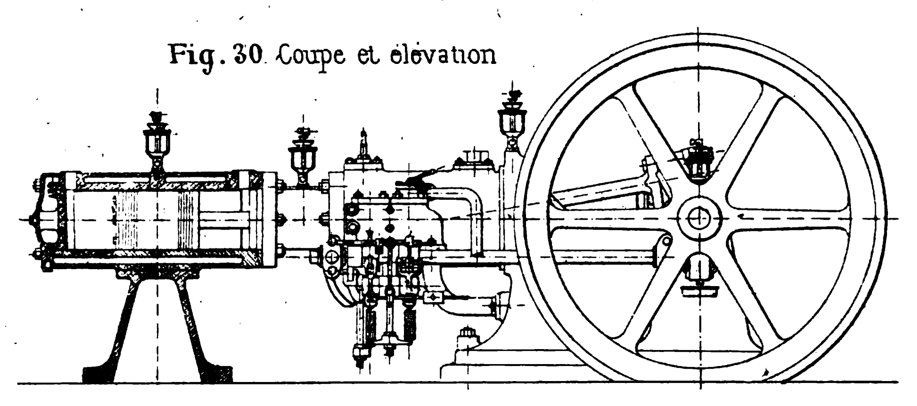


Fig. 30. Coupe et élévation

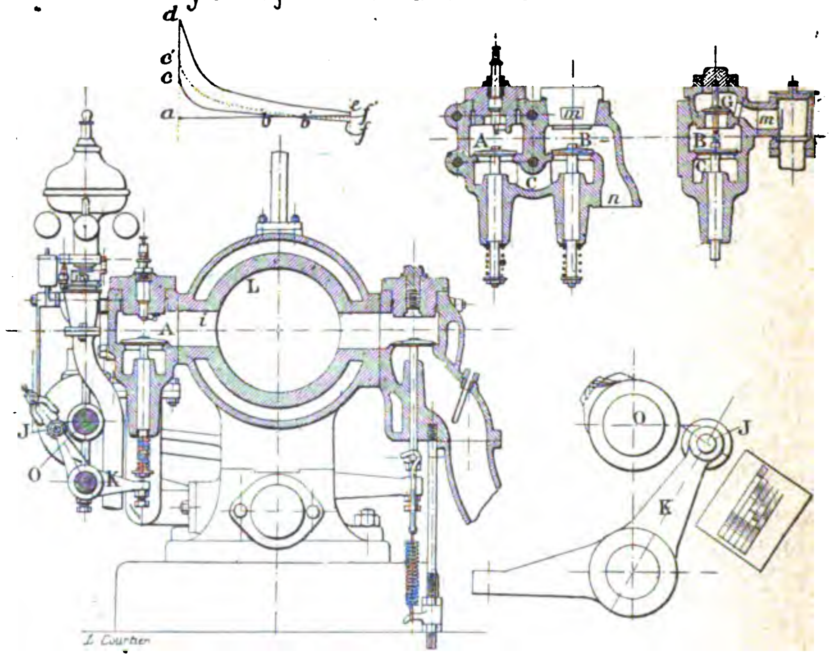
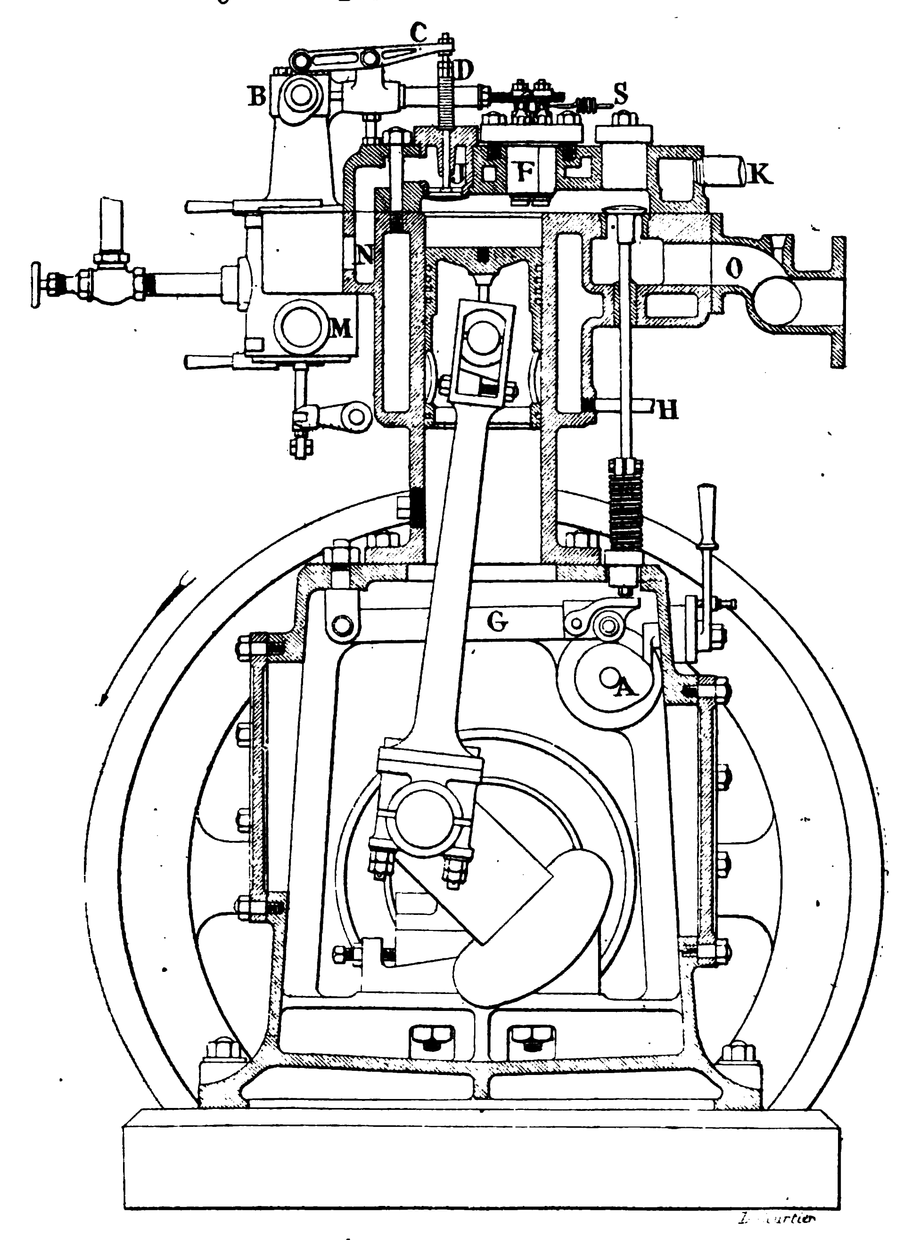


Fig. 31. Diagramme et détail de la distribution

Ces moteurs diffèrent essentiellement des anciens moteurs à deux temps à compression préalable, où le mélange gazeux était d'abord comprimé dans un cylindre spécial, d'où il pénétrait dans le cylindre moteur, pour s'y enflammer et s'y détendre.

Fig. 32. Coupe perpendiculaire à l'arbre moteur



Ce type de moteur, aujourd'hui abandonné, à côté des inconvénients qui ont causé sa ruine, présentait des avantages d'une telle importance, qu'il serait extraordinaire qu'on ne voie pas ce type réapparaître un jour, sous une autre forme.

Le moteur à quatre temps a, sur les autres, des avantages positifs d'une très rare valeur. Il est caractérisé par ce fait que les gaz font tout leur cycle dans le même cylindre, ce qui est essentiellement pratique.

La compression et la détente, notamment, se font dans de bien meilleures conditions, avec moins de perte de charge et de déchet des parois, que lorsque ces deux opérations sont effectuées dans des cylindres séparés, et qu'il faut faire communiquer les deux cylindres par des conduits et des soupapes.

L'inconvénient du moteur à quatre temps est de ne donner qu'une course motrice pour deux tours de manivelle, ce qui nécessite, pour une puissance déterminée, des cylindres de plus grand diamètre. Il est à remarquer que, pendant la course correspondant à l'échappement et celle correspondant à l'admission, le piston ne travaille nullement. C'est en abrégeant ces deux périodes que l'on a pu réduire à deux courses du piston le délai nécessaire aux quatre opérations d'aspiration, compression, détente, refoulement.

Déjà, dans son ancien moteur à deux temps, M. Dugald-Clerk avait comprimé, seulement en partie, un mélange tonnant dans le cylindre auxiliaire, pour en terminer la compression dans le cylindre moteur.

Dans les nouveaux moteurs à deux temps, l'ouverture de l'échappement se fait environ aux cinq sixièmes de la course motrice, la soupape d'admission permet presque aussitôt l'entrée des gaz frais, qui poussent devant eux les gaz brûlés et les chassent. L'échappement se ferme alors au commencement de la course suivante et le piston, à son retour, comprime le mélange tonnant.

Ce système est généralement compliqué par une chasse d'air qui précède l'introduction des gaz frais.

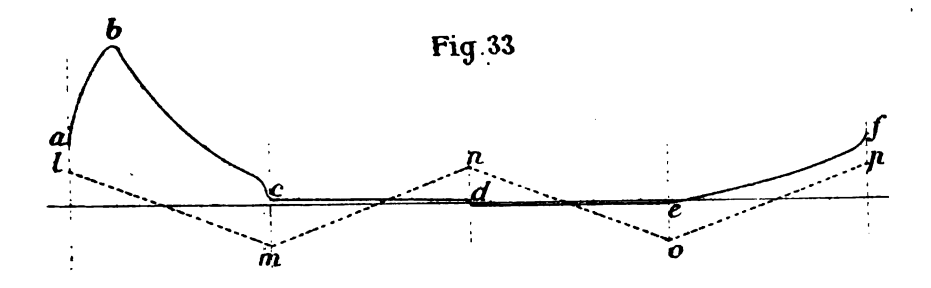
Elle a l'avantage de faire sortir plus complètement les gaz brûlés, de permettre d'introduire une plus grande proportion de mélange tonnant sans avoir à craindre que celui-ci s'échappe par la soupape ouverte avec les gaz brûlés; enfin, plusieurs constructeurs estiment que cette disposition a l'avantage de refroidir les cylindres. C'est un bien singulier avantage.

Il ne semble pas que cette chasse d'air soit, en tout cas, nécessaire, car il existe des moteurs à deux temps qui n'en sont pas pourvus. Elle a l'inconvénient de demander l'usage d'une pompe de compression, qui est un déchet organique très sensible.

Le moteur à deux temps présente donc l'avantage d'avoir une puissance double de celle du moteur à quatre temps du même alésage. Il sera certainement modifié et présente actuellement plusieurs inconvénients. On peut notamment y remarquer que la détente, arrêtée aux cinq sixièmes de la course, est encore plus incomplète que dans le moteur à quatre temps, où déjà elle est insuffisante.

Je signalerai, à l'avantage des moteurs à deux temps, la facilité avec laquelle les réactions d'inertie peuvent être choisies de façon à équilibrer, en partie, les efforts dus à la pression des gaz sur le piston et, au moins dans les moteurs à simple effet, donner un effort de direction constante le long de la bielle et sur ses deux articulations.

Je montrerai, à cet effet (*fig. 33*), le diagramme d'un moteur



à quatre temps, où les pressions sont les ordonnées et les absisses représentent le déplacement du piston, compté toujours positivement, tant à l'aller qu'au retour.

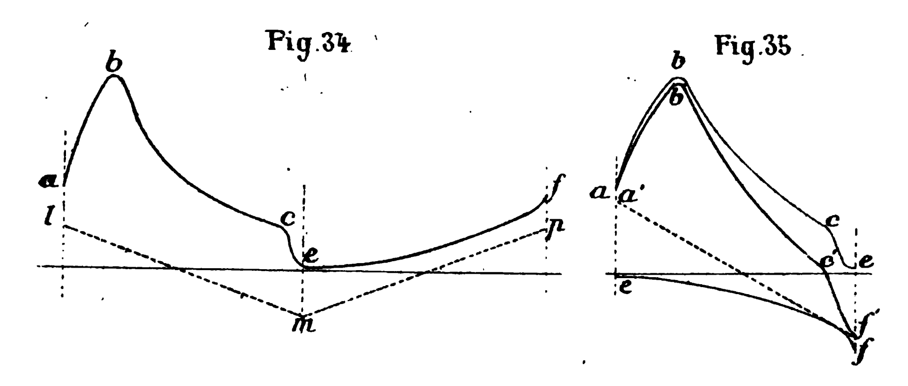
abc correspond à l'explosion et à la détente; *cd* à l'échappement; *de* à l'admission, où la pression est légèrement au-dessous de la pression atmosphérique; *ef* à la compression.

Sur la même figure, je représente, de la même manière, les réactions dues à l'inertie du piston et de la bielle et, pour simplifier, je suppose que l'angle de la bielle avec l'axe du cylindre est très petit.

Ces réactions ont un diagramme représenté dans cette hypothèse par des lignes droites. Je prends comme positives les réactions qui retiennent le piston pendant la course motrice. La

ligne pointillée *lmnop* représente ce diagramme. Il est facile de voir que l'effort résultant transmis au bouton de manivelle sera représenté par la différence des ordonnées de la courbe pleine du diagramme et de la courbe pointillée de celui des réactions et que, dans un moteur à quatre temps, il est impossible d'éviter une surface *vmw* où ces ordonnées sont négatives. Il y a donc nécessairement, dans un moteur à quatre temps, au moins deux moments en *v* et en *w*, où le sens de l'effort sur l'articulation du bouton de manivelle change, ce qui est fâcheux pour l'entretien de cette articulation.

Dans un moteur à deux temps à simple effet, la figure 34 représente ce qui se passe. En *abc* sont figurés l'explosion et la détente, en *ef* la compression. Il est facile de voir que la courbe du diagramme des réactions d'inertie *lmp* peut, au contraire,



laisser entre elles et le diagramme des efforts des gaz, des ordonnées constamment positives. Il suffit que la masse et l'accélération des pièces soit calculée de façon que la droite *mp* ne coupe pas la courbe de compression *ef*.

Dans ces conditions, la bielle travaille uniquement à la compression. Si cela a de grands avantages pour la conservation des organes, on peut y trouver quelques inconvénients, pour le graissage de l'articulation. On peut y remédier par graissage intérieur sous pression, ou encore, on peut calculer la masse des pièces de façon que la réaction d'inertie vienne équilibrer l'effort des gaz pendant une courte période de la compression, c'est-à-dire que la ligne *mp* soit sensiblement tangente à la courbe *ef*. Il y a choc dans l'articulation, mais c'est un choc fort léger, une sorte de soulèvement qui permet à l'huile de pénétrer.

Cet avantage très considérable des moteurs à deux temps se

retrouve tout entier dans un moteur à quatre temps, où deux pistons, fonctionnant à simple effet, sont en tandem.

Il ne faudrait pas qu'un des pistons fonctionnât à double effet.

Il est intéressant d'examiner, d'une façon semblable, ce qui se produit, dans le cas d'un moteur à deux temps, à double effet, comme le moteur Kœrting. Je représente en *abcef*, dans la figure 35, le diagramme d'un semblable moteur ; en *e'f'* l'effort de compression exercé sur une face, pendant que l'autre face subit ceux de l'explosion et de la détente, de telle sorte que, pendant une course du piston, l'effort résultant des gaz est *ab'c'f'*. Si nous figurons, pivotant autour du point *s*, les différentes positions de la droite représentant les réactions d'inertie, nous voyons qu'il ne faudrait pas qu'elle ait une forme analogue à *ij* et coupe le diagramme pendant l'explosion, car le choc des articulations serait détestable. Au contraire, si elle est moins inclinée et que le changement de sens de l'articulation se produise pendant l'échappement, l'inconvénient sera bien moindre et enfin, si la courbe est *asf'*, on aura changement du sens des efforts sur la bielle, à chaque extrémité de la course. C'est ce qui se produit à peu près dans les machines à vapeur, mais ici, bien plus efficacement que dans les machines à vapeur, la réaction d'inertie peut venir diminuer l'effort des gaz et lui retirer la plus grande partie de sa brutalité.

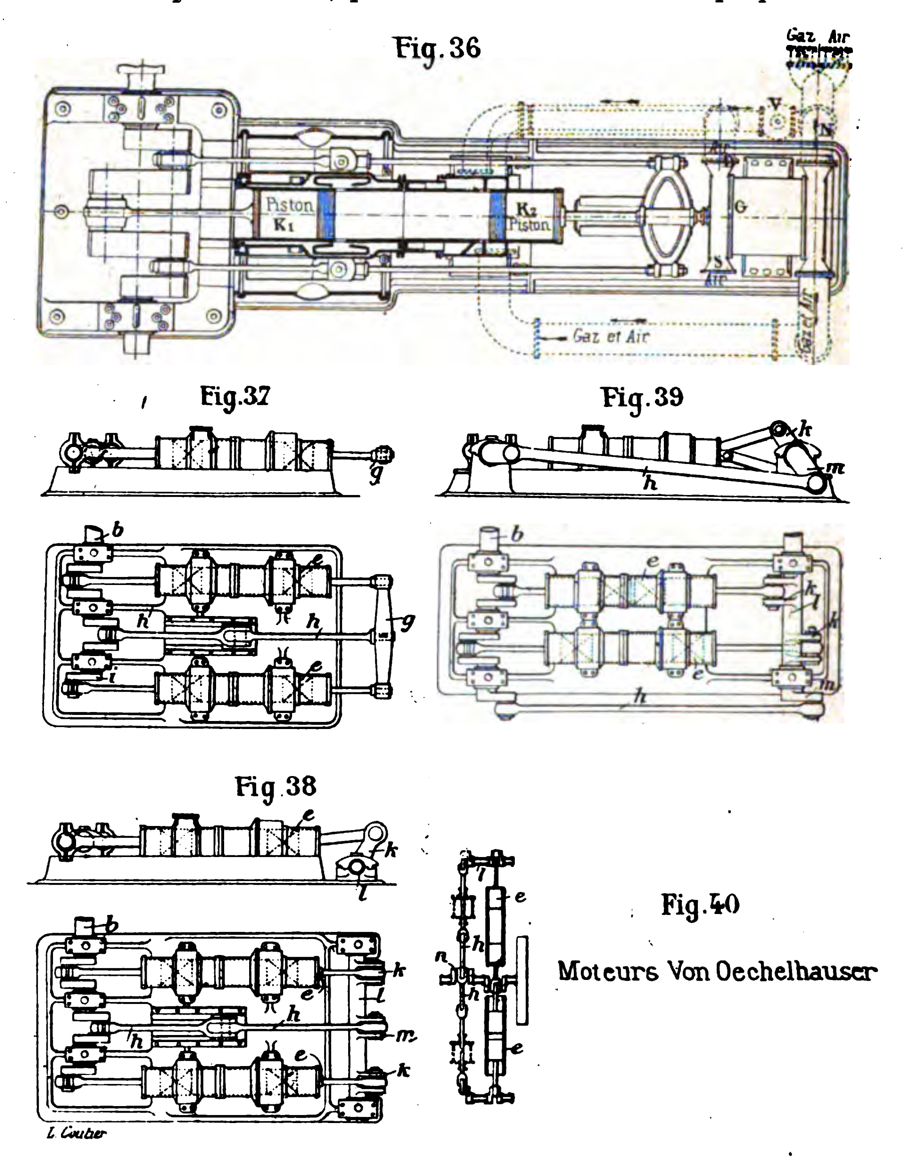
Le moteur à deux temps, qui a été essayé à Hörde, depuis 1895, est des plus remarquables à différents points de vue.

Il est équilibré suivant l'axe du cylindre et la verticale. Ceci est obtenu en mettant dans le même cylindre deux pistons opposés et en calant à 180° les manivelles auxquelles ces pistons transmettent leur effort sur l'arbre moteur. C'est le procédé qui est employé dans différents moteurs d'automobiles.

Les réactions sur le sol de la chambre des machines se trouvent ainsi considérablement réduites et l'ensemble du bâti ne supporte que les efforts dus aux variations du couple moteur. La figure 41 montre une coupe en long horizontale du moteur. On y voit comment les pistons sont reliés à l'arbre, l'un directement par une bielle, l'autre dont la tige est guidée par une glissière entraîne deux tiges auxiliaires glissant dans des fourreaux, s'appuyant à leurs extrémités sur deux glissières, où elles s'articulent avec deux autres bielles; il y a ainsi par cylindre trois bielles et l'arbre moteur est trois fois coudé.

Cette transmission est très heureuse. Il est seulement à craindre qu'elle ne donne un assez fort déchet organique.

L'autre particularité, qui caractérise ce moteur et qui présente



un avantage plus spécial pour les gaz de hauts fourneaux, est l'absence de soupapes.

La figure 36 montre, en tandem, derrière le piston moteur, un piston compresseur dans un cylindre à double effet G.

Sur une face il comprime de l'air pur et sur l'autre un mélange tonnant, dont une vanne, manœuvrée à la main, permet de régler la proportion du gaz.

Mélange tonnant et air aboutissent, par des conduites, à l'une des extrémités du cylindre dans des réservoirs annulaires qui communiquent avec l'intérieur du cylindre par une série d'ouvertures placées en couronne et inclinées de façon que les gaz, en pénétrant dans le cylindre, prennent un mouvement de rotation autour de l'axe.

La distribution est faite par les pistons eux-mêmes.

Quand l'explosion est terminée et que la détente est suffisante, l'un des pistons K_1 découvre les ouvertures de l'échappement qui sont à l'extrémité du cylindre du côté de l'arbre de couche. Puis l'autre piston K_2 découvre d'abord les orifices d'admission de l'air pur, qui produit une chasse et balaye les gaz qui s'échappent en grande partie avec eux. Enfin, le même piston donne accès au mélange tonnant.

Ces trois couronnes sont visibles en coupe sur la figure 36.

On admet que le mélange tonnant reste, en quelque sorte, séparé derrière l'air et les gaz brûlés sans se mélanger à eux sensiblement; aussi, quand l'explosion s'est faite grâce à une étincelle électrique qui jaillit entre les deux pistons dans une chambre de compression, l'explosion se fait aussi sûrement, quelle que soit la quantité de mélange introduit.

Cela permet au régulateur de faire varier sans inconvénient la quantité de mélange tonnant admise et la régulation fonctionne ainsi, par variation de la détente, sans modification de la compression.

Trois moteurs de 600 *ch* à deux cylindres, dont trois sont en fonctionnement à Hörde. De puis, différents moteurs de 1 000 *ch*, à deux cylindres également, ont été construits en Allemagne.

A Hörde, la marche est très silencieuse, il suffit d'un nettoyage tous les dimanches et ce nettoyage est très facile, puisqu'il suffit de sortir un des pistons du cylindre.

Je ne connais pas d'expériences précises, mais l'on m'a indiqué que la consommation par cheval-heure effectif était de 3,5 m^3 de gaz variant entre 950 et 1 100 calories.

Ce moteur est très remarquable, mais son principal inconvénient est d'être très compliqué. M. von Ochelhaüser a dû se préoccuper de chercher des procédés différents pour la transmission de l'effort des gaz à l'arbre moteur. Il avait facilité d'en

trouver spécialement avec des moteurs poly-cylindriques. Les figures 37, 38, 39, 40 montrent, à cet effet, différentes dispositions brevetées.

Dans la première, pour deux cylindres, il n'y a plus que trois bielles grâce à une glissière centrale.

Dans la seconde, il y a bien six bielles, mais les Stuffing-box sont supprimés et le mouvement des pistons arrière est communiqué à un arbre oscillant, qui transmet son mouvement à l'arbre moteur.

Dans la troisième disposition, l'équilibrage vertical est sacrifié. Quant à la quatrième, ce sont deux moteurs mis au bout l'un de l'autre.

Le moteur Koerting est aussi un moteur à deux temps, mais il diffère essentiellement du moteur von Ochelhaüser.

MM. Koerting frères, de Hanovre, construisent depuis longtemps des moteurs à quatre temps à double effet et ceux-ci fonctionnent fort bien.

Ils ont construit pour les gaz de hauts fourneaux des moteurs à double effet et à deux temps, qui, pour un seul tour de manivelle, fournissent ainsi par cylindre deux impulsions.

Ces moteurs ressemblent, en somme, beaucoup, comme fonctionnement, aux machines à vapeur.

Ils ressemblent encore aux machines von Ochelhaüser et à quelques autres par cela, qu'ils n'ont pas de soupape d'échappement. Celles-ci sont encore remplacées par une couronne d'orifices *e*, que le piston démasque vers les cinq sixièmes de la course motrice.

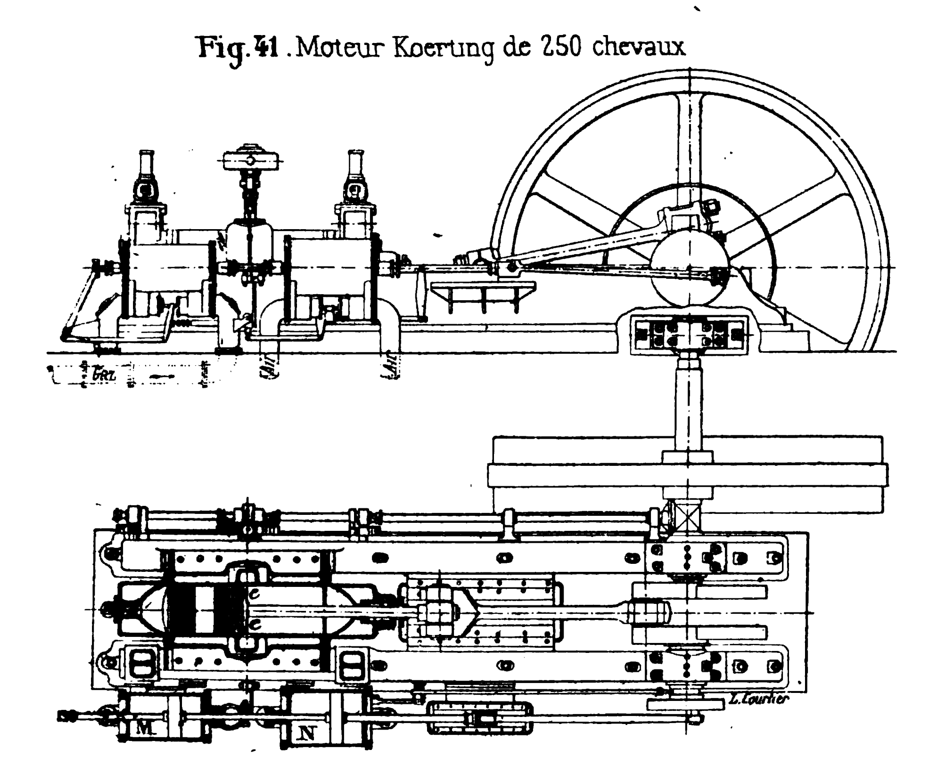
Ici aussi l'admission, qui se fait aux extrémités du cylindre dans deux culasses obliques par des soupapes *d'* verticales, est précédée d'une chasse d'air, qui provient de la même soupape et nettoie le cylindre. Toutefois, il a été nécessaire de produire, dans ce moteur comme dans tous les moteurs semblables, un mouvement hélicoïdal des gaz admis, faute de quoi ceux-ci traversent la partie médiane du cylindre et s'échappent en partie avec les gaz brûlés, en faisant un balayage très incomplet.

Le mouvement giratoire oblige les gaz à appuyer sur la périphérie et à chasser devant eux tout ce qui pourrait rester dans le cylindre. C'est avec une ailette, convenablement disposée au-dessous de la soupape d'admission et venue de fonte avec le

cylindre, que cet effet est produit. La figure 41 montre la disposition de ce moteur.

Le piston s'articule à la bielle motrice sur une glissière. Les pompes de compression d'air et de gaz sont en tandem. Elles sont naturellement à double effet comme le moteur lui-même et reçoivent leur mouvement de l'arbre moteur, sur lequel elles sont calées à 110° de la bielle motrice. La distribution de ces pompes est faite par tiroir et c'est sur ce tiroir que le régulateur agit pour modifier la proportion de gaz et d'air.

Fig. 41. Moteur Koertung de 250 chevaux



La pompe à air N est de surface beaucoup plus grande que la pompe à gaz M et le tiroir est disposé de façon que l'air soit chassé avant le gaz, puis, à la fin de cette période, les tiroirs des deux pompes laissent passer air et gaz dans une proportion que le régulateur peut modifier.

Les essais officiels ont été faits sur ce moteur par le professeur Meyer, qui a indiqué un rendement en travail indiqué au cylindre moteur de 37,9 0/0.

Quand le travail indiqué des pompes était déduit, le rendement

s'abaissait à 33,9 0/0, ce qui montre bien combien la compression de l'air et des gaz est importante comme déchet. Elle ne peut être récupérée d'aucune manière et, pendant l'admission, le mélange gazeux que l'on a comprimé revient à la pression atmosphérique.

Enfin, le rendement en travail effectif mesuré au volant fut trouvé de 23,8 0/0, ce qui constitue un rendement organique de 71 0/0.

Toutes ces valeurs sont mesurées avec des gaz calculés d'après leur pouvoir calorifique minimum.

D'après nos procédés admis en France, il faudrait les réduire légèrement. On peut toutefois remarquer que le rendement de ce moteur à deux temps est excellent, malgré un rendement organique beaucoup plus réduit que celui des bons moteurs à quatre temps.

Actuellement, on construit, en France et en Allemagne, des moteurs Koerting à un seul cylindre de 500 *ch*, dont il sera très curieux de suivre les essais.

Dans cette étude de l'utilisation des gaz de hauts fourneaux je n'ai pas, ainsi que beaucoup d'autres l'ont fait, parlé des souffleries. J'avais déjà, en effet, un sujet très chargé et ces appareils demandent à eux seuls une longue étude.

En outre, pour pouvoir comme l'a fait M. Thwaite, caler une soufflerie directement sur l'arbre moteur ou, comme l'a fait la Société Cockerill, les mettre en tandem dans le prolongement du moteur, il faut réunir ainsi deux machines d'un caractère bien différent. Le moteur à gaz a une vitesse de piston de 4 à 5 *m*, très supérieure à la vitesse habituelle des pistons de soufflerie. Il faut donc alors réduire la vitesse des moteurs à gaz, c'est rendre les machines encombrantes et onéreuses, et nuire à leur rendement.

Il convient donc de rechercher des souffleries à grande vitesse; j'estime que c'est un problème tout particulier, qui ne rentre pas dans le cadre de l'étude que j'ai à faire ici.

Mon opinion personnelle, d'ailleurs, est qu'il convient de laisser un intermédiaire, électrique ou autre, entre le moteur à gaz et la soufflerie. Le déchet ainsi occasionné peut être beaucoup plus restreint que celui que l'on obtiendrait en accouplant directement deux machines d'allure si différente.

En résumé, quand on étudie la question de l'utilisation des gaz de hauts fourneaux, il semble que tout le problème est dominé par l'épuration de ces gaz.

Il faut, en quelque sorte, rendre les gaz marchands.

Plusieurs maisons ont cherché à créer des moteurs spéciaux; mais il semble que ce sont surtout les constructeurs habituels de moteurs à gaz, qui doivent faire leurs efforts pour approprier leurs moteurs à l'emploi d'un combustible très pauvre et qui ne peut jamais être nettoyé d'une façon parfaite. Le problème est d'ailleurs à l'ordre du jour maintenant où de grandes stations de force motrice par moteur à gaz et gazogènes montrent l'économie et la sécurité de ce mode de transformation de l'énergie du combustible en travail.

Il semble qu'autour des hauts fourneaux de grandes usines pourront être installées, auxquelles la force motrice sera fournie gratuitement, ou, du moins, constituera une économie dans la fabrication de la fonte.

Mais il ne faut pas évaluer trop largement cette économie. Le gaz de haut fourneau, étant très pauvre, est un combustible très encombrant et l'on ne peut espérer que les besoins de force motrice seront parallèles à la production du gaz, de sorte que par moment beaucoup de gaz pourra rester sans emploi, si l'on n'a pas de procédé pour faire des réserves d'énergie.

A ce sujet M. Disdier avait indiqué une solution assez élégante pour les hauts fourneaux, où le coke est fabriqué sur place, qui eût consisté à brûler une partie du gaz de haut fourneau comme combustible aux cokeries, afin de pouvoir mettre en réserve le gaz quatre fois plus riche de ces dernières.

Ce qu'il y a de certain, en tout cas, c'est qu'il y a, dans l'emploi direct du gaz de haut fourneau aux moteurs à gaz et la récupération d'énergie sous forme de force motrice, une révolution dans la métallurgie, qui doit amener des économies considérables dans la fabrication du fer et de l'acier et concourir ainsi d'une façon puissante à l'amélioration du bien-être général.

LES APPAREILS SERVANT A L'ANTHROPOMÉTRIE ET A LA PHOTOGRAPHIE JUDICIAIRES

PAR

M. Edmond LAURENT

Les diverses conditions à réaliser pour la mensuration, et surtout pour la photographie, sont assez nombreuses et compliquées. Pour bien montrer ces conditions, et la manière dont elles sont réalisées pratiquement, tant dans la construction des appareils que dans leur utilisation, il est indispensable de parler d'abord d'une façon générale de l'anthropométrie, et de la photographie judiciaires.

L'utilité sociale indéniable de l'identité judiciaire, établie d'après la méthode Bertillon, savant modeste qui s'est adonné à l'étude de cette science nouvelle si féconde en résultats pratiques, rend d'ailleurs ce sujet très intéressant.

Je vais maintenant exposer :

1° Le but de l'anthropométrie et de la photographie judiciaires;

2° Les moyens de réalisation;

3° Les résultats acquis et à venir.

But de l'anthropométrie.

Le signalement est ainsi défini par *Littré* : « Description d'une personne que l'on veut faire reconnaître ».

Il a une très grande importance au point de vue judiciaire en général, et en particulier au point de vue pénitentiaire.

L'ancienne méthode employée pour le signalement consistait en descriptions vagues, dont nous possédons des exemples sur nos livrets militaires :

« Menton rond, visage ovale, etc. »

On conçoit que de pareils signalements ne pouvaient amener que très rarement des reconnaissances.

De plus, la classification alphabétique par noms, la seule qui pouvait être adoptée, rendait les recherches presque impossibles parmi ces nombreux signalements.

La dissimulation d'identité était alors très fréquente, et ne pouvait être utilement combattue par un tel système.

La photographie a bien donné quelques résultats pratiques; mais, comme dans le cas précédent, la classification alphabétique étant la seule applicable, on a vite reconnu qu'il était matériellement impossible, parmi 100.000 photographies, de retrouver celle d'un individu qui dissimulait son nom. La difficulté des recherches était très souvent aggravée d'ailleurs par les dissemblances frappantes, entre les photographies du même individu, qui avait jugé bon de transformer sa physionomie soit par le port de barbe, soit par tout autre moyen.

Ce sont ces difficultés qui ont amené M. Bertillon à rechercher une méthode qui pût permettre une grande facilité de classification, et par suite de recherches.

Le but de la méthode étant ainsi défini, je vais, maintenant, passer aux moyens de réalisation.

Moyens de réalisation.

Il y a actuellement trois sortes de signalements usités en matière judiciaire :

1° Le signalement anthropométrique ;
2° Le signalement descriptif ;
3° Le signalement par le moyen des marques particulières.

Le rôle de ces signalements, tout en concourant au même but, est différent. Un exemple va de suite le faire comprendre.

Un malfaiteur s'est rendu coupable d'un crime.

La police se sert du signalement descriptif pour arriver à le reconnaître, et l'arrêter en quelque lieu qu'il se trouve.

L'arrestation opérée, le signalement anthropométrique intervient pour fixer son individualité. Il établit ses références judiciaires s'il en a. Dans le cas contraire, il assure à une première faute les atténuations de la loi.

Quant au signalement par le moyen des marques particulières, sa fonction est de mettre hors de doute les résultats donnés par les deux autres signalements.

Nous allons examiner successivement ces trois signalements.

Du signalement anthropométrique.

Le signalement anthropométrique est basé sur les trois données suivantes :

1° La fixité à peu près absolue de l'ossature humaine à partir de la 20e année d'âge ;

2° La diversité extrême de dimensions que présente le squelette humain, comparé d'un sujet à un autre ;

3° La facilité et la précision relative avec lesquelles certaines dimensions du squelette sont susceptibles d'être mesurées sur les sujets vivants, à l'aide d'instruments de précision spéciaux de construction très simple :

Les mesures définitivement adoptées sont :

La taille.
L'envergure des bras.
La hauteur du buste.
La longueur de la tête.
Sa largeur.
Le diamètre bi-zigomatique.
La longueur de l'oreille droite.
La longueur du médius gauche.
La longueur de l'auriculaire gauche.
La longueur de la coudée gauche.

Il est de toute nécessité que ces mesures soient prises avec la plus grande précision possible.

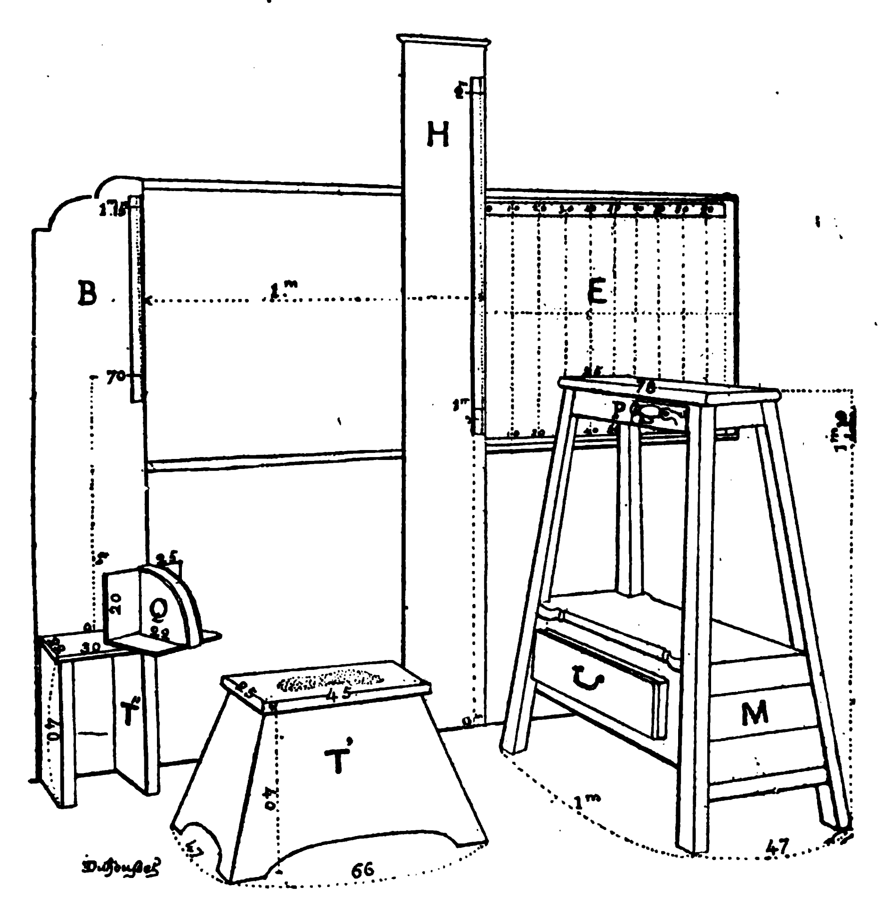
Aussi, avant d'opérer, les mensurateurs doivent recevoir quelques leçons leur permettant de suivre les indications précises données par la pratique pour les diverses manières d'opérer.

La hauteur de la taille est projetée au moyen d'une équerre de formes spéciales, sur un mètre fixé verticalement au mur. Le sujet, pieds nus, est adossé au mur, de façon à lui faire prendre sa hauteur maximum, tout en veillant à ce que ses talons touchent à terre.

L'envergure est prise immédiatement après la hauteur de taille, sans presque déranger le sujet. Une toile cirée divisée par des lignes verticales centimétriques, pouvant servir à toutes les tailles, est fixée au mur. La graduation finale de cette toile : 2*m* est exactement située à 2*m* du tasseau le long duquel le

MOBILIER DE MENSURATION

Disposition des Graduations murales



H. — Toise verticale d'un mètre pour la mensuration de la taille.

E. — Graduation sur papier ou sur toile cirée pour la mensuration de l'envergure.

B. — Toise d'un demi-mètre pour la mensuration du buste ou hauteur de l'homme assis.

Q. — Equerre mobile à double projection servant à la mensuration de la taille et du buste.

T' — Tabouret mobile pour faciliter la mensuration du pied, des diamètres céphaliques et de l'oreille.

T'' — Escabeau servant à la mensuration du buste.

M — Tréteau spécialement destiné à la mensuration de la coudée et offrant un point d'appui (P) au sujet durant la mensuration du pied.

Fig. 1.

sujet doit appuyer son médius droit. La mesure se lit au bout du médius gauche.

La mensuration du buste est effectuée à l'aide des mêmes instruments. Le sujet est assis sur un tabouret à dimensions très restreintes, qui le force à s'asseoir d'aplomb.

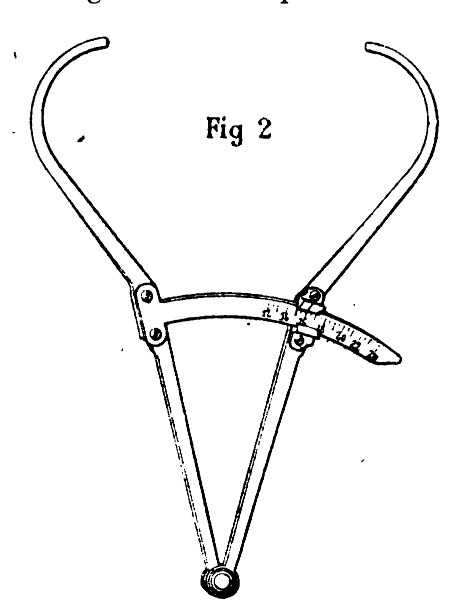
Comme nous venons de le voir, ces trois premières mensurations sont obtenues à l'aide d'instruments très simples :

1 équerre spéciale à poignée.
1 mètre bois dur divisé en millimètres.
1 demi-mètre dans les mêmes conditions.
1 toile cirée graduée.
1 tabouret pour la mesure du buste.

Les deux diamètres céphaliques : longueur et largeur du crâne, et le diamètre bi-zigomatique, sont relevés au moyen d'un compas d'épaisseur.

La longueur de la tête se mesure de la concavité de la racine du nez, prise comme point fixe, à la partie la plus saillante du derrière de la tête.

La largeur doit être prise à son maximum, et l'on n'arrive à ce maximum que par déplacements successifs du compas. Ces déplacements doivent toujours être effectués symétriquement de chaque côté de la tête.


Fig 2

Le diamètre bi-zigomatique se prend de la même façon que la largeur de la tête, au niveau des zigomes.

Le compas d'épaisseur qui sert à ces trois mensurations se compose de deux branches en acier estampé, dont les extrémités sont arrondies, afin de ne pas égratigner la peau du sujet. Un arc de cercle fixé sur l'une des branches, porte une graduation spéciale, permettant de lire directement l'écartement des branches en millimètres.

La longueur de l'oreille droite s'obtient à l'aide d'un compas à glissière ressemblant beaucoup au pied à coulisse ordinaire. Les becs présentent des surfaces planes assez grandes permettant de prendre les mesures de toutes les formes d'oreilles.

Cette mensuration est faite sur l'axe maximum, en ayant soin de ne pas déprimer en quoi que ce soit les parties molles.

L'oreille droite a été choisie de préférence, en raison de ce

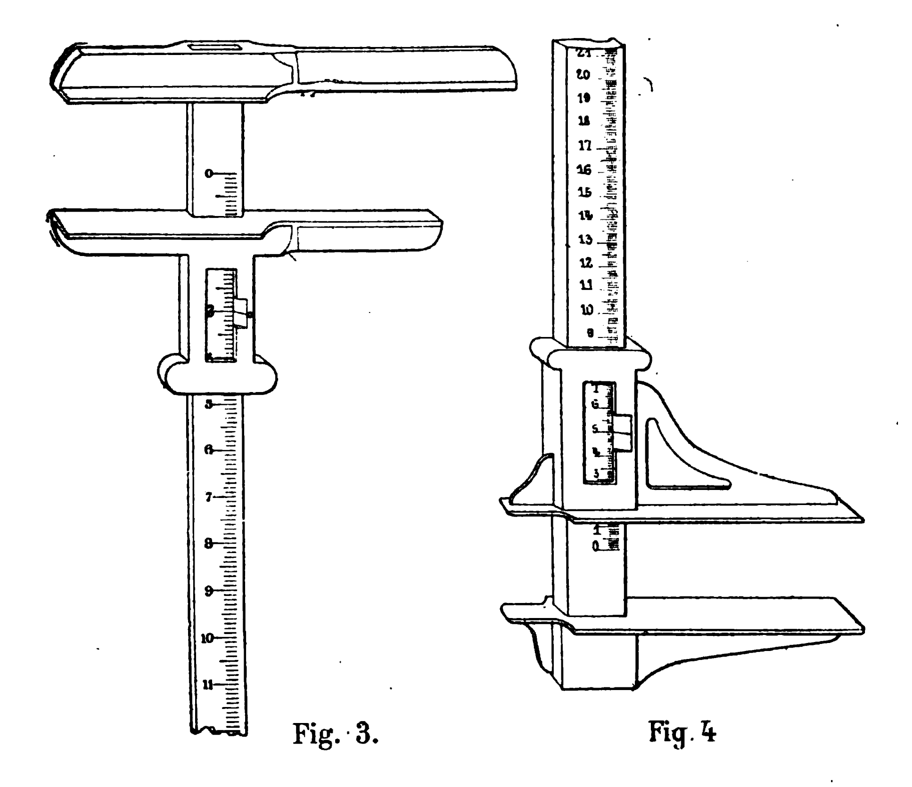


Fig. 3. Fig. 4

qu'elle seule est reproduite dans la photographie de profil dont je vous entretiendrai tout à l'heure.

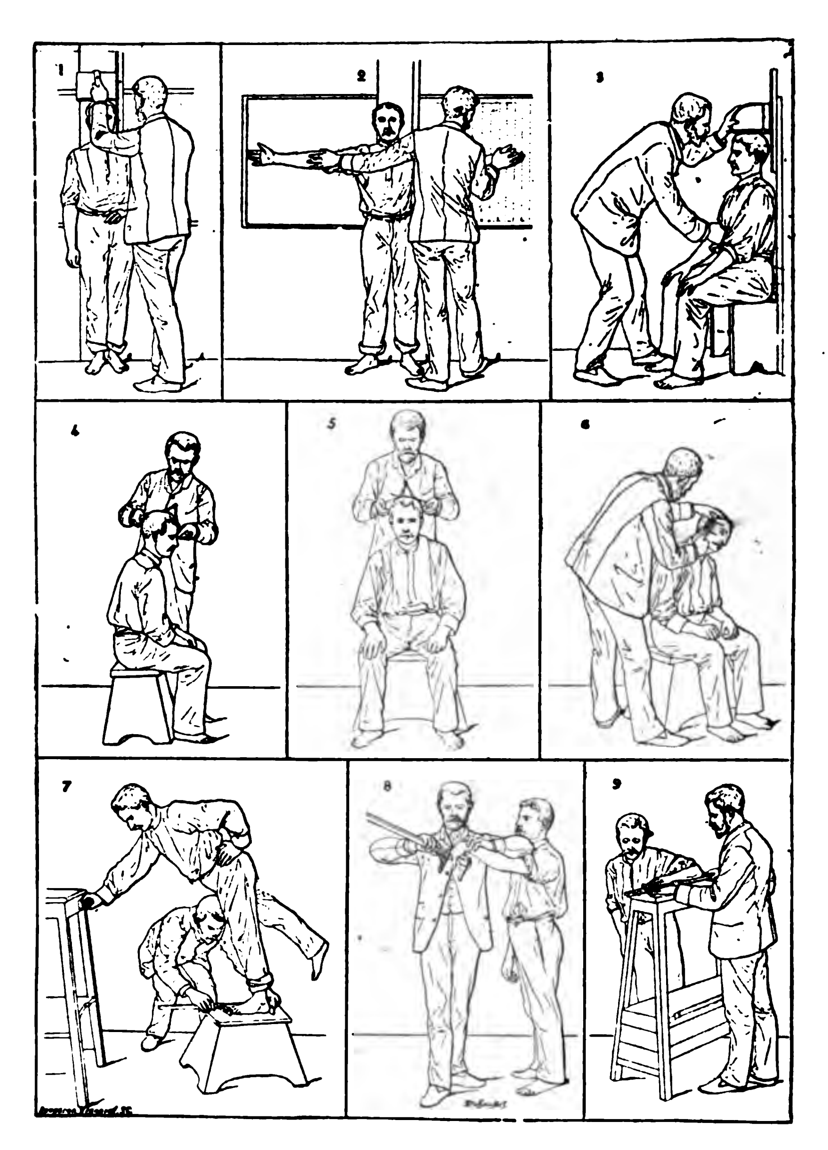
Les dernières mensurations dont nous avons à nous occuper : celles du pied, des doigts et de la coudée sont obtenues à l'aide d'un compas glissière ressemblant un peu à l'instrument dont se servent les cordonniers pour la mesure des pointures.

Il est composé d'un tube en cuivre divisé en millimètres, d'un bec fixé sur ce tube à l'une de ses extrémités, et d'une partie coulissante. Le bec et la coulisse présentent deux surfaces planes assez grandes, servant à la mesure du pied et de la

RELEVÉ

DU

SIGNALEMENT ANTHROPOMÉTRIQUE



1. Taille. — 2. Envergure. — 3. Buste.

4. Longueur de la tête. — 5. Largeur de la tête. — 6. Oreille droite.

7. Pied gauche. — 8. Médius gauche. — 9. Coudée gauche.

Fig. 5.

coudée et, d'autre part, deux saillies de petites dimensions servant à la mesure des doigts.

Le pied gauche nu est mesuré, en ayant soin de faire reposer tout le poids du corps sur ce pied, étendu à plat sur un tabouret, le pied droit étant soulevé et porté en arrière.

C'est le long du pied, du côté du gros orteil, que l'on dispose la tige du compas. La branche fixe est placée contre le talon du sujet, et la branche mobile doit toucher, sans la déprimer, l'extrémité du gros orteil.

Les doigts médius et auriculaire de la main gauche sont mesurés d'équerre, à partir du dos de la main, au moyen des petites branches du même compas glissière.

La coudée gauche est mesurée de la pointe du coude à l'extrémité du médius, l'avant-bras étant plié à angle aigu par rapport au bras, et placé sur un tréteau, la main étendue à plat, les ongles en dessus.

Ces diverses mesures sont inscrites au fur et à mesure sur des fiches signalétiques.

Au recto se trouvent :

1° Les observations anthropométriques;

2° Les renseignements descriptifs dont nous allons nous occuper tout à l'heure ;

3° Les notes relatives aux mensurations, et le relevé des marques particulières et cicatrices.

Au verso, se trouvent :

1° L'état civil ;

2° Les arrestations antérieures ;

3° Des renseignements divers.

Remarques sur les instruments.

La construction des instruments employés est très simple.

Leur disposition, et l'étude de leurs formes, ont été l'objet de bien des tâtonnements et de multiples perfectionnements avant d'atteindre leur état définitif.

Les premiers instruments qui ont été construits présentent un certain intérêt rétrospectif.

Dans diverses puissances étrangères, on a construit d'autres

instruments. Il eût été préférable, en vue de l'internationalisation générale du système, de s'en tenir aux instruments de l'inventeur, qui, en somme, ont reçu la sanction de la pratique.

Classification des signalements.

Nous venons de voir comment on relève le signalement anthropométrique. Nous allons voir maintenant son importance au point de vue de la classification des signalements.

Actuellement, il existe au service anthropométrique environ 120.000 fiches signalétiques.

Ces 120.000 fiches signalétiques sont réparties d'abord suivant le sexe, les hommes d'un côté, les femmes de l'autre. Ces dernières, beaucoup moins nombreuses que les hommes, ne dépassent pas le nombre de 20.000.

Des 100.000 signalements restants, il faut en défalquer encore environ 10.000, relatifs à des mineurs, lesquels nécessitent une classification spéciale.

Les 90.000 signalements d'adultes sont d'abord répartis d'après leur longueur de tête dans 3 divisions :

Petites, *moyennes* et *grandes* longueurs, comprennent chacune environ 30.000 signalements.

Bien entendu, les mots petites, moyennes et grandes, sont rigoureusement déterminés par des chiffres.

Chacune de ces trois divisions est ensuite partagée, suivant le même principe, en trois groupes basés sur la largeur de la tête. On a remarqué que cette largeur varie indépendamment de la longueur.

Ces trois nouvelles subdivisions ne comprennent plus alors que 10.000 fiches chacune.

A leur tour, les 9 subdivisions déjà obtenues sont divisées en 3 nouveaux groupes, suivant la longueur du médius gauche, ce qui donne 27 sous-subdivisions, ne comptant plus chacune que 3.300 signalements environ.

La longueur du pied donne une 4ᵉ indication subdivisant chacun des 3 groupes obtenus en 3 nouveaux groupes de 1.100 signalements chacun.

Puis interviennent 3 nouvelles subdivisions basées sur la longueur de la coudée, qui réduisent le nombre des fiches à 400.

Les variations de la taille divisent chacun de ces 3 derniers paquets en 3 d'environ 130 signalements, finalement répartis,

toujours d'après le même principe, en classes d'une soixantaine, et en classes d'une douzaine au moyen de la couleur de l'œil. Ce dernier groupe de 12 signalements est ordonné lui-même suivant les valeurs croissantes de la longueur de l'oreille.

Donc, grâce aux 6 données anthropométriques, la collection des 120.000 signalements se trouve finalement être divisée en groupes d'une douzaine.

On peut maintenant se rendre compte avec quelle facilité on peut retrouver la fiche d'un malfaiteur qui cache son identité.

Quand une ou plusieurs mesures se trouvent sur les limites des divisions de la classification, on recherche dans les divers embranchements, absolument comme on recherche à différents endroits du dictionnaire le mot dont on ignore l'orthographe exacte.

En pratique, et malgré la valeur des indications ci-dessus, on ne s'en tient jamais, pour affirmer une identité, au seul signalement anthropométrique. Cette affirmation d'identité ne se trouve confirmée que par les renseignements descriptifs, et le relevé des marques particulières, adjoints à tout signalement.

Du signalement descriptif ou portrait parlé.

Nous venons d'examiner le signalement anthropométrique, passons maintenant au signalement descriptif.

Nous avons vu que ce signalement sert à la police pour reconnaître un malfaiteur en quelque lieu qu'il se trouve. Le fameux « coup d'œil », qui était encore tout récemment un instinct, un flair spécial, une grâce d'état parmi les limiers de la Préfecture de Police, est devenu aujourd'hui une faculté pouvant s'acquérir par l'étude.

Ce signalement descriptif a reçu le nom très approprié de portrait parlé. Il a, avec le signalement anthropométrique, le principe commun d'obéir aux lois générales de fixité chez le même individu, et de variabilité d'un individu à l'autre.

L'œil ne voit dans les choses que ce qu'il regarde, et ne regarde que ce qui est déjà en idée dans l'esprit. C'est de ce précepte que s'inspira M. Bertillon pour l'étude du portrait parlé.

Le signalement descriptif se compose pour chaque sujet, d'environ une dizaine d'indications principales, caractéristiques, inscrites sur une fiche spéciale.

Le recto comprend :

1° Les photographies profil et face;
2° Les observations anthropométriques;
3° Les renseignements chromatiques;
4° Les renseignements descriptifs analysés de profil;
5° Les renseignements descriptifs analysés de face.

Le verso comprend :

1° Le relevé des marques particulières et cicatrices;
2° L'état civil;
3° Les renseignements divers.

Cette fiche peut être pliée en deux et mise en poche.

Le signalement descriptif est basé sur les distinctions entre les formes de nos divers organes extérieurs : front, nez, oreille, etc.

Il serait long et fastidieux d'énumérer toutes les rubriques employées pour arriver à caractériser chaque partie du visage d'un individu. Il suffira d'indiquer cette méthode pour l'une des parties essentielles caractéristiques; elle consiste à pousser l'analyse des caractères de la physionomie jusqu'au point où il devient possible de sérier le vocabulaire descriptif approprié.

Prenons comme exemple le nez. Nous allons tout d'abord séparer l'étude de la forme de celle des dimensions. En ce qui regarde la forme, nous ne décrirons que celle du nez vu de profil. Pour ce, nous séparerons la considération du dos du nez, de celle de l'inclinaison de la base. Arrivés à ce point, les termes descriptifs s'imposent d'eux-mêmes dans leur sériation, à savoir :

Les formes concaves;
— rectilignes;
— convexes.

L'ordre d'énumération ne peut être changé; c'est en effet celui suivant lequel les erreurs ou les confusions peuvent se produire. Il est évident que certains nez à dos très légèrement concaves, peuvent être confondus avec certains autres à dos rectilignes. De même, certains nez à dos très légèrement convexes peuvent s'approcher suffisamment de la forme rectiligne pour être facilement considérés comme ayant cette forme; mais le nez très légèrement concave ne pourra en aucun cas, sauf erreur, être confondu avec le nez très légèrement convexe.

Ces considérations sont susceptibles d'être étendues à tous les caractères descriptifs, du moment qu'ils sont sériés.

Ils conduisent à une gamme de sept échelons, qui réalise le maximum de précision avec le minimum de mots, et qui pour le nez sera la suivante :

Très concave,	qui s'écrit	*cav*
Concave,	—	cav
Légèrement concave,	—	(cav)
Rectiligne,	—	r
Légèrement convexe,	—	(vex)
Convexe,	—	vex
Très convexe,	—	*(vex)*

Il est admis d'une façon générale, pour l'interprétation des renseignements descriptifs, que les deux qualificatifs les plus rapprochés, concave et légèrement concave, par exemple, peuvent être considérés tous deux comme exacts, dans deux signalements du même individu pris par deux agents différents. Il peut en effet se produire des différences d'appréciation, et tel nez qui sera désigné concave par un agent, pourrait très bien être désigné légèrement concave par un autre agent.

Ce qui précède indique suffisamment la méthode générale de description qui a été employée, et dont le but est de ne laisser à l'erreur que la place la plus étroitement limitée.

Il est maintenant facile de se rendre compte des services que ce signalement est appelé à rendre.

Il fait l'objet d'un enseignement régulier, donné à Paris, tant aux Inspecteurs de police qu'aux élèves de l'École pénitentiaire supérieure.

Trente leçons de deux heures chacune suffisent à faire acquérir à ces agents une connaissance parfaite du portrait parlé. Leur instruction théorique est suivie d'exercices pratiques, au cours desquels ils se rendent dans l'une des prisons de Paris, et, munis du signalement descriptif sans photographie, d'un des détenus qu'ils n'ont jamais vu, ils le reconnaissent parmi cent ou deux cents autres avec une sûreté et une rapidité surprenantes.

Des dissemblances notables existent cependant souvent entre le sujet et la photographie de laquelle on a extrait le signalement; mais l'agent, ne recherchant qu'à l'aide des caractères absolument fixes du portrait parlé, ne peut être impressionné par ces changements, qui seraient une cause d'erreurs dans la recherche à l'aide de la photographie simple.

Le portrait parlé se présente donc comme un outil nouveau,

perfectionné et scientifique, mis entre les mains des agents chargés des recherches des malfaiteurs.

Le jour où la Police internationale l'aura adopté, ce sera comme un œil universel, le « fameux œil », dévisageant au passage les criminels de marque, et les démasquant infailliblement, malgré la perfection de leurs déguisements les mieux réussis.

Déjà l'Allemagne, l'Autriche, la Suède, la Norwège, le Danemark, l'Italie et la Suisse, ont envoyé à Paris des fonctionnaires, qui, après avoir étudié le portrait parlé, ont été chargés de l'appliquer en leurs pays.

Du Signalement par les marques particulières.

Des trois signalements énumérés, il ne reste plus qu'à examiner le signalement par les marques particulières.

Il suffira de dire que toutes ces marques sont minutieusement relevées, ainsi que leurs emplacements exacts. Des signes particuliers d'abréviation sont employés pour abréger l'écriture et même la lecture de ces fiches.

Nous venons de voir successivement les trois signalements en usage. J'ai indiqué tout à l'heure leurs rôles respectifs.

A eux trois, ils suffiraient amplement pour obtenir l'identification désirée.

Malgré cela, outre les indications ci-dessus énumérées, il existe sur la fiche anthropométrique d'autres données, savoir :

1° L'état civil et le relevé des condamnations antérieures s'il y a lieu;

2° Une photographie de face et de profil;

3° Les empreintes des doigts.

Des Impressions digitales.

L'adjonction des impressions digitales, a une très grande valeur signalétique, car dans la plupart des cas, ces empreintes offrent un caractère absolu d'identité. Elles pourraient constituer à elles seules un moyen de reconnaissance suffisant, si les difficultés de classification n'existaient pas.

En effet, les arabesques que montre l'épiderme de la face antérieure des doigts, présentent cette particularité, qu'elles sont fixes chez le même sujet, et extraordinairement variables d'un sujet à l'autre.

Elles sont obtenues tout simplement par l'impression des doigts sur la fiche d'identité, après qu'ils ont été enduits d'encre d'imprimerie, étalée sur une plaque spéciale.

L'adjonction de ces empreintes sur la fiche signalétique, vient donc corroborer très heureusement, les indications données par les trois signalements.

L'anthropométrie suffit donc amplement pour établir une identité.

De la Photographie judiciaire.

Généralités. — Son but.

Cependant, dans beaucoup de cas, et principalement au point de vue judiciaire, pour les confrontations et pour les enquêtes, par exemple, il est intéressant d'avoir une photographie jointe au signalement.

Les photographies profil et face, telles qu'elles sont prises, ont de plus une valeur réelle au point de vue du relèvement du signalement descriptif qu'elles permettent. Elles présentent en outre un autre caractère d'utilité. Nous avons vu en effet que, jusqu'à vingt ans, les parties osseuses ne sont pas arrivées à leur développement. La photographie, dans le cas de sujets au-dessous de cet âge, est donc presque le seul élément d'identification. C'est pour ces divers motifs que l'on a joint, à la fiche d'identité, une photographie de profil et de face.

La photographie, comme toutes les autres parties du service de l'identité judiciaire, a nécessité une étude très appronfondie.

Conditions a réaliser.

Deux points principaux doivent être réalisés :

1° L'unité de réduction, qui a été admise de 1/7e par la Préfecture de Police;

2° L'emplacement de la netteté maximum du portrait à l'angle de l'œil. C'est sur cet emplacement que la réduction sera calculée.

La photographie judiciaire diffère notablement du portrait ordinaire. Les photographes professionnels mettent au point en avant, pour n'avoir pas à retoucher : la barbe seule chez l'homme et les broderies du cou chez la femme sont nets.

Ici, le but est inverse : pas de retouches, et jamais trop de détails.

C'est à ces deux points de vue généraux, que l'étude des appareils en usage a été faite.

Le problème a été très heureusement résolu de deux façons :

D'abord, au moyen d'un appareil compliqué, véritable machine, en service à la Préfecture de Police, et donnant des résultats vraiment remarquables de netteté.

Cet appareil a été construit par notre collègue M. Gauchot, et lui fait grand honneur.

La seconde solution du problème a été donnée par un appareil très simple qui donne des résultats presque aussi satisfaisants que celui en usage à la Préfecture de Police, et qui, en raison de sa simplicité, peut être mis entre toutes les mains.

Description de l'Appareil.

Il se compose de trois parties principales :

1° La chambre photographique proprement dite et son pied;
2° La chaise de pose et son socle;
3° Le porte-mire.

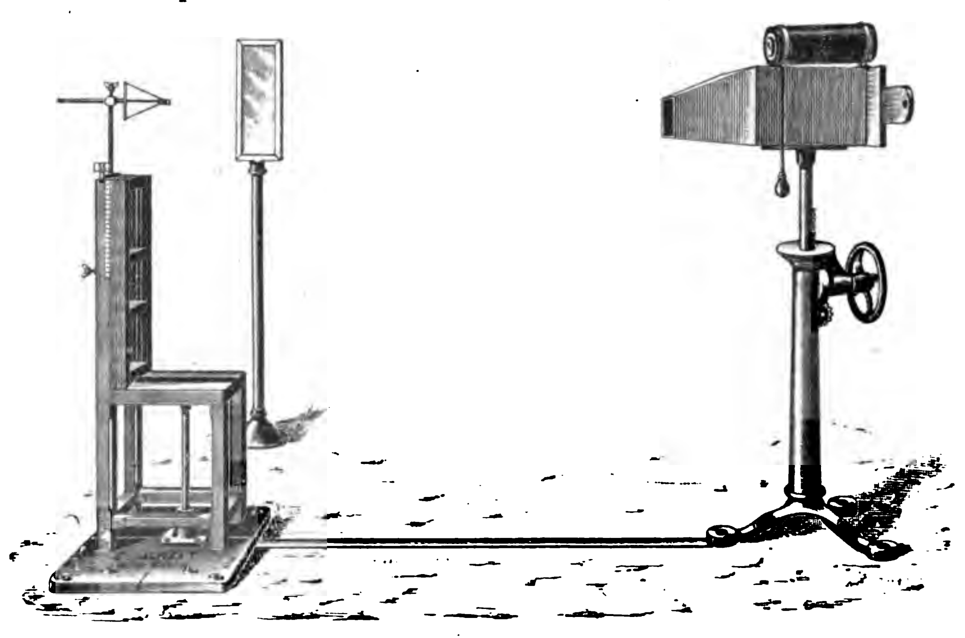


Fig. 6.

La chambre photographique se compose elle-même de plusieurs parties :

L'objectif, l'obturateur, la chambre noire, le châssis, le viseur, le cône protecteur et le pied à crémaillère.

L'objectif a été choisi pour donner les résultats les plus nets, et opérer très rapidement, même avec une lumière insuffisante.

L'obturateur est métallique ; sa disposition spéciale permet à volonté la pose et l'instantané.

La chambre noire est à foyer fixe, sans soufflet, ni crémaillère, réglée à l'avance pour la réduction de 1/7e, adoptée à la Préfecture de Police, et la netteté maximum à l'angle externe de l'œil.

Le châssis négatif est construit de facon à permettre la réunion des deux portraits profil et face sur une même plaque. Une aiguille placée dans le châssis contre la plaque sensible, indique sur l'image de la graduation centimétrique de la chaise de pose, à 1 *cm* près, la hauteur du buste du sujet.

Le viseur, placé au-dessus de la chambre noire, est composé d'un tube en cuivre, aux extrémités duquel sont fixés une lentille simple et un verre dépoli. La mise en plaque et la mise au point rigoureuses du sujet sont assurées par ce viseur. Il assure de plus pour tous les sujets une pose uniforme.

Nous voyons en effet sur le verre dépoli deux lignes AB ot OT, l'une verticale axiale, l'autre oblique. Le sujet doit être placé de façon que la ligne AB se confonde avec sa ligne axiale de face, et que la ligne OT se superpose sur une ligne droite imaginaire, tracée de l'angle externe de l'œil au sommet du tragus. Cette dernière ligne est appelée ligne oculo-tragienne.

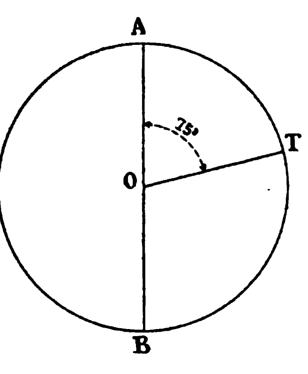


Fig. 7

Le cône protecteur placé à l'avant de la chambre noire, sert simplement à abriter l'objectif des rayons lumineux. Il porte à l'intérieur une glace destinée à assurer la fixité du regard du sujet dans la position de face, en lui renvoyant sa propre image pendant la pose.

Le pied à crémaillère est en fonte, de grande stabilité. Il permet l'orientation exacte de l'axe optique, et assure son horizontalité constante dans le déplacement de la chambre noire.

La chaise spéciale de pose et son socle ont été étudiés de façon à assurer, pour tous les sujets quels qu'ils soient, une mise en

plaque exacte. Trois dossiers mobiles permettent par leur enlèvement facultatif de mettre la tête dans une position exacte, comme je viens de vous l'indiquer suivant les lignes tracées sur le verre dépoli du viseur.

Les dossiers sont cintrés, de façon que le dos du sujet soit parfaitement guidé. Un appui-tête permet, pour la pose de face, de replacer le sujet dans la position exacte où il se trouvait dans la pose de profil. Une nervure axiale sur le siège, ainsi qu'un encadrement de moulures, obligent le sujet à se placer exactement dans l'axe du siège.

La chaise porte de plus un pivot qui, combiné avec les trous coniques percés dans le socle, et les dés en métal des pieds de la chaise, permet d'assurer très exactement les deux positions profil et face.

Le porte-mire, placé parallèlement à l'axe de l'objectif, et normalement à l'axe de la chaise placée de profil, est destiné à assurer la position exacte du sujet dans la position de profil, et la fixité de son regard en lui renvoyant son image.

Fonctionnement de l'appareil.

L'appareil étant décrit, il reste à en montrer le fonctionnement.

L'opération commence par la photographie de profil. Le sujet est assis sur la chaise de pose, en ayant soin qu'il soit bien adossé; il doit regarder la glace du porte-mire. Sa tête est ajustée par l'opérateur de telle façon qu'elle apparaisse de pleine face dans la glace du porte-mire, et que l'image de l'angle externe de l'œil se projette sur la ligne verticale tracée sur le verre dépoli du viseur. Ce résultat est obtenu par l'enlèvement d'un ou plusieurs dossiers de la chaise de pose.

La chambre noire est ensuite levée ou abaissée, jusqu'à ce que le haut du tragus du sujet vienne se projeter sur la ligne oculo-tragienne. En faisant ensuite quelque peu baisser ou lever la tête, on amène l'angle externe de l'œil à coïncider avec le point d'intersection de la ligne oblique et de la ligne verticale du viseur.

Le châssis étant placé au cran P (profil), on démasque, en ouvrant le volet de droite, la partie de la plaque qui sera impressionnée par le profil; on fait poser le temps nécessaire et on referme le volet.

La photographie de profil étant prise, c'est ici qu'apparait bien nettement la nécessité des dispositions spéciales de la chaise de pose. Son but principal est de conserver dans les deux poses,

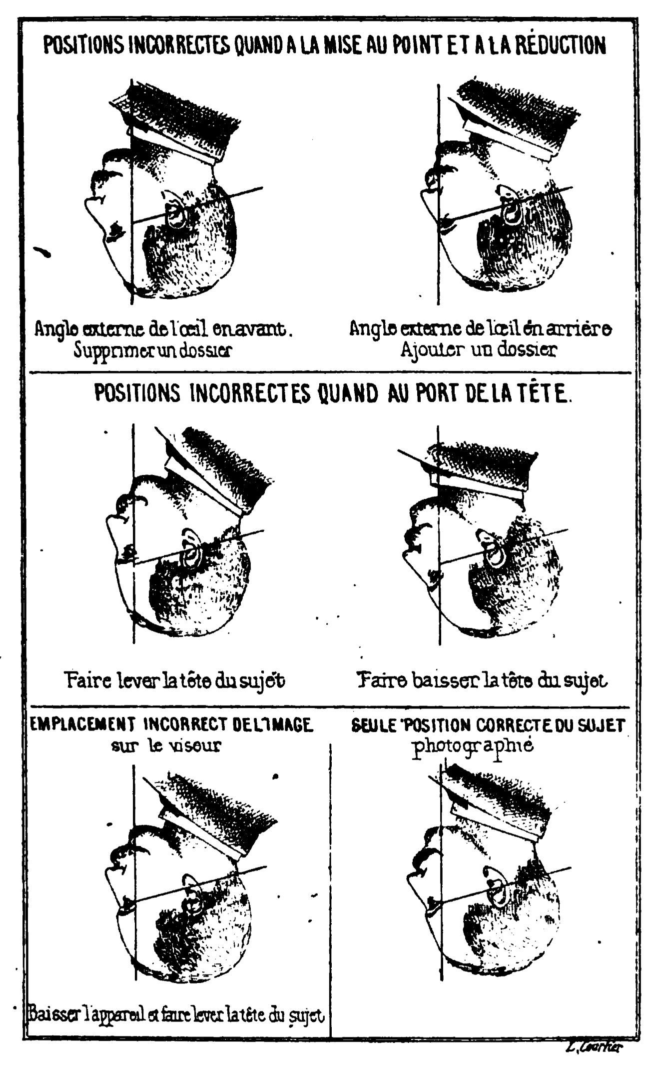


Fig. 8

profil et face, l'angle de l'œil dans le plan donnant le maximum de netteté. La distance de ce plan à l'objectif est déterminée une fois pour toutes pour chaque objectif, par des expériences spéciales préalables qu'il serait trop long de décrire. Le socle et le

Fig. 9.

X

90°

Socle.

Chaise.

Porte-mire

Y

Y

B

La distance à observer entre les points **A** *et* **B** *est indiquée sur une plaque fixée sur la chambre noire.*

A

Pied de la chambre noire.

X

pied à crémaillère sont fixés immuablement d'après ces expériences.

Nous avons vu, dans la pose de profil, que le sujet, au moyen des dossiers, a été placé de telle sorte que l'image de l'angle externe de l'œil se trouve projetée sur la ligne verticale du verre dépoli.

L'appui-tête étant fixé à cette position, on amène la chaise dans la position de face. Dans cette rotation, l'angle externe de l'œil reste dans le plan donnant le maximum de netteté. Ce résultat est obtenu par l'excentricité de l'axe de la chaise, et la position des trous coniques percés dans le socle.

Ces dispositions heureusement combinées, ont pour résultat d'avoir, pour les deux photographies profil et face, la même netteté à l'angle externe de l'œil, point du visage auquel cette netteté est absolument nécessaire pour ce genre de photographies.

L'opération se poursuit par la photographie de face.

Le châssis est poussé au cran marque F (Face); on fait lever le sujet, et après avoir tourné la chaise à la position de face, on le fait rasseoir dans les mêmes conditions que pour la pose de profil; on l'invite à se regarder les yeux dans les yeux dans la glace disposée dans le cône protecteur.

L'opérateur se place sur le côté droit de la chaise, et modifie l'inclinaison de la tête, jusqu'à ce que la ligne oculo-tragienne soit parallèle aux traits obliques tracés sur la glace du porte-mire.

Il vérifie ensuite dans le viseur si l'image est bien de pleine face, et si la ligne verticale tracée sur le verre dépoli passe bien par le milieu de la figure.

On ouvre ensuite le volet de gauche, on pose le temps convenable, équivalent au temps de la pose de profil, et on referme le volet.

On a ainsi sur la même plaque les deux photographies profil et face. Il ne s'agit plus maintenant que d'obtenir des épreuves, et de les coller sur les fiches d'identité.

Nous venons de voir comment on relève la photographie des vivants.

Lorsqu'il s'agit de photographier un mort, il est nécessaire de prendre certaines dispositions spéciales employées en vue de réaliser la plus grande analogie de pose et de réduction, avec les portraits similaires pris sur le vivant.

L'appareil photographique est du même genre que celui que je viens de décrire, mais peut se déplacer facilement. Il est

muni d'un niveau servant pour la mise en plaque exacte du sujet, et pour donner au profil l'inclinaison normale de la ligne oculo-tragienne.

La chambre noire est placée à une distance fixe, calculée en vue d'assurer la réduction réglementaire de l'image au 1/7.

Le cadavre est placé sur un appareil à dossier mobile à crémaillère, permettant d'amener sa tête au point normal, caractérisé par l'inclinaison de la ligne oculo-tragienne à 15° de l'horizontale.

Nous avons examiné tout d'abord le but de l'anthropométrie ; nous venons d'examiner assez longuement sa réalisation.

Résultats obtenus par l'application de l'anthropométrie.

Il nous reste à constater les résultats obtenus, et ceux que l'on peut encore obtenir, notamment par l'internationalisation du système.

M. Henry-Boucher, ex ministre du commerce, avait été appelé, comme membre de la commission du budget (Exercice 1893), à faire un rapport sur le service pénitentiaire.

Il disait alors :

« Les services rendus par l'identification scientifique, et l'an-
» thropométrie qui en est la base, ceux qu'elle est appelée à
» rendre lorsque son organisation sera complète, non seulement
» à la police, à la justice, et à la science pénitentiaire ; mais à la
» science pure, exigent sa reconnaissance officielle comme ser-
» vice d'État. »

Telle était l'opinion d'un éminent homme d'État, presque au début de l'anthropométrie.

Nous allons voir que les résultats ont pleinement confirmé cette opinion.

En ce qui concerne Paris, le nombre annuel de récidivistes arrêtés en cette ville sous de faux noms, et officiellement reconnus par le service spécial, depuis sa création en 1882, a progressé d'année en année, depuis 49 en 1883, jusqu'à 600 en 1900,

Le total des reconnaissances dans cette période a été de 10.000.

Il est une réflexion qui vient immédiatement à l'esprit en présence de ces chiffres, et des résultats qu'ils constatent.

Des erreurs survenues.

Nous ne doutons pas, dira-t-on, que l'examen anthropométrique ne fasse reconnaître un certain nombre de malfaiteurs ; mais il serait intéressant de savoir combien réussirent, comme avant, à passer à travers ces filets. Vous nous dites les chiffres des succès obtenus ; pourriez-vous nous dire également le chiffre des insuccès ?

Des documents officiels peuvent répondre.

L'erreur en pareille matière peut être de deux sortes :

1° Identification fausse ; 2° Identification manquée.

L'identification fausse consisterait à confondre Durand avec Martin, par suite de similitude absolue d'indications.

On peut affirmer de la façon la plus catégorique, que les 3 signalements combinés mettent à l'abri de ces méprises.

Sur 10.000 reconnaissances faites de 1883 à 1900, c'est-à-dire en 17 ans, pas une n'a donné lieu à une confusion, que du reste, les réclamations de l'intéressé devant les magistrats instructeurs auraient immédiatement signalée. Je dis : *pas une !*

Les identifications manquées correspondent à un autre ordre de faits. Sur 100 individus, qui en moyenne chaque jour traversent les salles de l'anthropométrie, quel est le nombre de ceux qui ne sont pas dévoilés par leur signalement, et qui sont reconnus ultérieurement, soit à l'aide des procédés anciens, soit à la suite de circonstances fortuites ?

La statistique officielle nous fournit sur ce chapitre une réponse d'une exactitude indiscutable. L'administration préfectorale a en effet décidé, en même temps qu'elle adoptait le signalement anthropométrique, qu'une prime de 10 francs serait accordée à tout agent de police ou gardien de prison qui signalerait à la Direction une reconnaissance manquée, et que la somme en question serait prélevée sur les appointements des agents anthropomètres.

Chaque lapsus se transformant en une pièce comptable, est donc certainement enregistré. Or, sur l'annuaire statistique de 1889, on constate que sur 30.000 sujets examinés dans l'année, le nombre des identifications manquées ne s'est élevé qu'à 4. Ces chiffres dispensent de tous commentaires.

Les résultats obtenus à Lyon, à Marseille, ainsi que dans les puissances étrangères qui ont adopté le système Bertillon, parais-

sent aussi satisfaisants, quoique non corroborés par des statistiques aussi complètes.

On peut donc dire que partout où l'essai de l'anthropométrie a été tenté, le succès a couronné les efforts.

Un autre résultat curieux de l'anthropométrie, a été de pouvoir se rendre compte statistiquement de la répartition des races originelles dont la fusion a formé notre nation.

Pour cela il a été dressé une carte de France divisée en arrondissements, et relative à l'indice céphalique; cet indice est le rapport existant entre la longueur et la largeur d'une même tête.

Des cartes similaires ont été établies également pour la coloration de l'iris humain et pour la taille. Celle de l'indice céphalique qui nous occupe, est composée de teintes progressives, allant du blanc au noir; le blanc indique un indice céphalique très petit, c'est-à-dire une tête longue et étroite, et le noir, au contraire, est la caractéristique d'un indice céphalique très grand, c'est-à-dire une tête de longueur petite et de largeur grande.

L'examen des cartes statistiques montre que :

Les anciens habitants de la Gaule, dits Celtes, caractérisés par une tête large, des yeux foncés, mais peu pigmentés, une taille peu élevée et des yeux relativement grands, s'observent encore à l'abri des mélanges dans les régions montagneuses des Cévennes, de l'Auvergne, de la Savoie, des Voges et de la haute Bretagne.

Dans les plaines du Nord et le long des fleuves de l'Est, il y a prédominance du type kymrique (ou belge de Jules César), à tête longue et étroite, à taille élevée et à yeux bleus.

Dans le Sud, prédomine le type des races méditerranéennes, à tête également longue et étroite, à taille plutôt élevée ; mais à yeux marrons et petits.

Les Parisiens participent des trois principales races comprenant la nationalité française, et leur signalement moyen est presque celui de la France en général.

Internationalisation du système.

Il ne me reste plus maintenant que quelques mots à dire au sujet de l'internationalisation de l'anthropométrie.

Le système Bertillon a été adopté officiellement par les États-Unis, la Suisse, la Russie, l'Allemagne, la plupart des États de

l'Amérique du Sud, la Tunisie, les Indes anglaises, la Roumanie, etc.

M. de Ryckère, un éminent magistrat belge, a fait un travail très complet, relatif à l'internationalisation de l'anthropométrie. Il serait trop long de lire en entier ce travail, très intéressant d'ailleurs, et je me bornerai à en citer quelques passages :

« L'internationalisation de la méthode des signalements anthro-
» pométriques, voilà la précieuse réforme que l'intérêt de tous
» les pays civilisés commande de réaliser à bref délai.

» L'immense utilité du système de M. Bertillon ne saurait
» désormais être contestée. La période des essais et des tâtonne-
» ments est passée; les résultats de l'expérience faite en France
» sont absolument décisifs : c'est le succès complet et indéniable.
» Tous les hommes de progrès et d'initiative applaudiront à l'in-
» troduction, dans notre pays, de la méthode de M. Alphonse
» Bertillon.

» La méthode des signalements anthropométriques est appelée
» à rendre d'immenses services. Il importe avant tout de la vul-
» gariser. Voilà le progrès ! »

Telle est l'opinion d'un éminent magistrat belge.

De l'utilité générale de l'anthropométrie en dehors de l'identité judiciaire.

Je terminerai par un aperçu de l'utilité générale que pourrait présenter l'anthropométrie, en dehors de l'identité judiciaire.

La constatation de l'indéniable identité des individus arrivés à l'âge adulte répond, dans la Société moderne, aux besoins les plus réels, aux services les plus variés.

Qu'il s'agisse par exemple de donner aux soldats d'une armée, aux voyageurs, des notices ou cartes individuelles, permettant de déterminer, et de prouver toujours quels ils sont; qu'il s'agisse d'empêcher toute erreur, et toute substitution de personnes, notamment en matière d'assurances sur la vie; qu'il y ait à prouver l'identité d'une personne aliénée, grièvement blessée, ou défigurée; morte de mort violente, ou à la suite d'un crime, d'un accident, d'un naufrage, d'un combat : dans tous ces cas, la méthode Bertillon peut être appliquée.

En un mot : fixer la personnalité humaine, donner à chaque être humain une identité, une individualité certaine, durable,

invariable, toujours reconnaissable, et facilement démontrable, tel semble l'objet le plus large de la méthode.

Il y a là toute une source féconde d'ingénieuses réformes et d'utiles perfectionnements à introduire dans différents domaines. Que d'exemples nombreux ne pourrait-on citer?

On n'aura pas encore oublié l'affaire Hoyos-Baron, qui s'est terminée par l'exécution de Hoyos. On sait que Hoyos s'était fait assurer sur la vie pour une somme fort importante. A l'effet de toucher la prime, il assassina son domestique Baron, le revêtit de ses propres habits, contenant des papiers d'identité, et le traîna sur les rails de chemin de fer pour faire croire à un accident. La supercherie fut bien près de réussir; elle eût été impossible à tenter, si le contrat d'assurance sur la vie avait contenu le signalement anthropométrique de la personne assurée.

CHRONIQUE

N° 259.

SOMMAIRE. — La qualité de la vapeur. — Bateaux à vapeur sur le Mississipi. — Les puits artésiens en Australie. — L'éclairage électrique des trains de chemins de fer. — Eclairage par incandescence au pétrole, système Washington. — La roue hydraulique Cassel.

La qualité de la vapeur. — La vapeur employée dans les machines y travaille dans des conditions d'autant plus favorables qu'elle est plus sèche; aussi désigne-t-on quelquefois par l'expression de qualité de la vapeur (1) sa plus ou moins complète exemption d'eau entraînée à l'état liquide.

On a longtemps considéré comme une chose absolument acquise que la vapeur sortant des chaudières était toujours mélangée d'une notable proportion d'eau, surtout dans les locomotives. Pambour paraît avoir été l'auteur principal de cette légende. On sait que, par une interprétation inexacte de certains résultats des expériences qu'il avait faites en 1834 sur des chemins de fer anglais, il avait cru devoir attribuer à la présence de l'eau entraînée la différence existant entre le poids d'eau d'alimentation et le poids de vapeur dépensée, calculé d'après les volumes des cylindres et le nombre de courses; cette proportion avait été évaluée par lui à 24 0/0 en moyenne, et on a fait remarquer que, comme Pambour avait supposé à tort que la pression était la même à l'entrée au cylindre que dans la chaudière, la rectification de cette erreur devait élever la proportion d'eau entraînée de 24 à 30 0/0. C'est ainsi que la légende attribuant à la vapeur sortant des chaudières de locomotives une proportion d'eau énorme s'est transmise jusqu'à notre époque, bien que beaucoup de bons esprits aient depuis longtemps cherché à réagir contre cette erreur.

Le premier paraît avoir été D. K. Clark, qui, dans son grand ouvrage *Railway Machinery*, fait remarquer que la différence constatée d'abord par Pambour, puis par les expérimentateurs qui l'ont suivi, se compose de l'eau entraînée, de l'eau condensée dans le tuyautage et enfin de l'eau condensée pendant l'admission sur les parois des cylindres et des pistons. De ses expériences personnelles, Clark a été conduit à conclure que l'eau réellement entraînée avec la vapeur est dans une proportion assez faible dont le maximum est de 3 0/0, à moins de conditions défavorables provenant de mauvaises dispositions de la chaudière ou de la nature de l'eau contenue dans le générateur.

(1) Benjamin Normand employait volontiers, il y a déjà une quarantaine d'années, une expression qui rentre dans le même ordre d'idées; il disait qu'il y avait de la bonne et de la mauvaise vapeur, voulant parler, dans le second cas, de vapeur mélangée d'eau entraînée ou condensée.

On doit d'ailleurs soigneusement distinguer entre l'eau entraînée proprement dite, que les Anglais désignent par l'expression de *spray*, et l'eau projetée en masse par une cause accidentelle, le *priming* de nos voisins, ce que nous appelons projections d'eau, lesquelles peuvent, sous l'influence de certaines causes, devenir assez importantes pour vider presque entièrement une chaudière. Nous ne nous occupons ici que de la première.

Si, pour les chaudières de terre, on n'allait pas jusqu'à admettre les proportions fantastiques dont nous venons de parler, la plupart des ingénieurs n'en étaient pas moins convaincus que la vapeur de ces générateurs contenait toujours une assez forte quantité d'eau. On peut en citer un exemple curieux. Dans le concours de chaudières institué en 1859 par la Société Industrielle de Mulhouse, il avait été spécifié que les générateurs présentés ne devraient pas entraîner plus d'eau avec la vapeur que les chaudières en usage général en Alsace, soit 5 à 6 0/0. Or les essais donnèrent des proportions à peu près nulles. Comme, dit notre regretté collègue M. Leloutre (*Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, septembre 1892, page 347), on ne pouvait se faire à l'idée que la vapeur est sèche à la sortie des générateurs, on accusa les méthodes employées d'inexactitude ou d'insuffisance; on ne chercha pas à résoudre la question d'une manière précise et on se borna à conclure que la proportion d'eau entraînée était restée dans les limites du programme.

Leloutre déclare que la question de l'eau entraînée lui paraît résolue dans le sens négatif, c'est-à-dire que la vapeur est effectivement sèche au sortir des chaudières, pour les générateurs fixes, mais il considère comme possible et même très probable que la vapeur des chaudières de locomotives entraîne de l'eau en marche, à cause de la translation de la machine, laquelle amène des trépidations et des mouvements divers susceptibles de projeter contre les parois du générateur de l'eau qui se pulvérise, comme l'eau de la mer est réduite en poussière contre les rochers du rivage; mais il ne donne aucune indication sur l'importance que peut avoir cet entraînement.

Nous avouons que cette explication ne nous satisfait pas; nous serions tenté de croire que Leloutre ne l'a donnée que pour ne pas paraître battre en brèche l'opinion généralement admise encore par beaucoup d'ingénieurs que les chaudières de locomotives entraînent notablement d'eau (1), alors que les générateurs fixes en entraînent peu ou point. Nous citerons à ce sujet deux faits : dans les essais du *City of Fall River* (*Bulletin* de 1885, vol. I, pages 258 et 455) on a trouvé en moyenne 0,97 0/0 d'eau entraînée et dans ceux de la *Ville de Douvres* (1892, vol. II, pages 163 et 322), 1 à 2 0/0 au maximum. Ces expériences ayant été faites à la mer, on voit que l'agitation ou trépidation imprimée aux chaudières n'amène pas nécessairement un entraînement d'eau et on peut parfaitement trouver dans ces faits un

(1) Dans le rapport de M. W. Adams sur la réalisation et utilisation des hautes pressions, lu au Congrès des Chemins de fer, à Saint-Pétersbourg en 1892, il est dit que : « Il est certain qu'avec la vaporisation très active de ces chaudières, la vapeur entraîne avec elle une certaine quantité d'eau qui peut atteindre 12 à 15 0/0 du poids de la vapeur ».

argument contre l'explication donnée plus haut. Ajoutons que les chiffres que nous venons de citer sont d'autant plus intéressants qu'on a souvent présenté les chaudières marines comme aussi sujettes que celles des locomotives à fournir de l'eau entraînée en proportion considérable. Un auteur estimé, Ledieu, dans son *Traité élémentaire des appareils à vapeur de navigation* (vol. I, page 307), dit : « Les praticiens estiment que 1 *kg* de vapeur sortant de la chaudière entraîne en suspension, au milieu de sa masse, 0,5 *kg* d'eau ! Il est bien entendu que ces chiffres se rapportent au fonctionnement normal, car lorsqu'il y a des projections d'eau, la quantité de liquide entraîné avec la vapeur devient considérable et atteint souvent des proportions dangereuses. » Nous avons bien de la peine à admettre ces chiffres, quoique les dispositions de beaucoup de chaudières, à l'époque où Ledieu écrivait ces lignes, fussent extrêmement défavorables au point de vue qui nous occupe. L'auteur, en tout cas, n'aurait pas dû généraliser en attribuant à toute une classe d'appareils les défauts de quelques-uns.

L'entraînement de l'eau par la vapeur est amené par l'émersion trop rapide des bulles de vapeur du sein de la masse liquide. Deux causes agissent pour déterminer la vitesse de cette émersion : la proportion de la surface d'ébullition ou plan d'eau par rapport à la production de vapeur et le volume plus ou moins grand de cette vapeur, lequel est en raison inverse de la pression. On conçoit qu'il faille considérer ici le volume et non le poids de vapeur produit, le volume étant d'autant plus faible que la pression de fonctionnement est plus élevée.

La question des vitesses d'émersion qu'il est prudent de ne pas dépasser si on veut avoir de la vapeur à peu près sèche a été traitée par nous dans le *Bulletin* du troisième trimestre de 1869, page 482. Nous y renverrons le lecteur; mais néanmoins, comme la question de l'importance du plan d'eau dans les chaudières ne paraît pas être encore suffisamment appréciée, on voudra bien nous pardonner d'insister sur ce point.

La proportion de ce plan d'eau à la surface de chauffe qui est un des deux éléments de la production de la vapeur, l'autre étant la surface de grille (1) est très variable suivant la nature des chaudières. Il nous a paru intéressant de rechercher, pour un certain nombre, le rapport $\frac{C}{N}$, C étant la surface de chauffe et N la surface de niveau d'eau de la chaudière. Ce rapport doit être corrigé pour tenir compte du plus ou moins grand volume de la vapeur qui émerge ; aussi introduisons-nous comme diviseur le poids du mètre cube δ à la pression correspondante ; P étant la pression effective, δ est pris à la pression absolue $P + 1$.

Au lieu de prendre comme diviseur δ qu'il faut chercher dans les tables spéciales, on peut quelquefois, sans grande erreur, prendre la

(1) Dans le Tableau A nous ne tenons compte que de la surface de chauffe, en supposant que toutes les chaudières indiquées ont une intensité de combustion sensiblement égale. Ce n'est pas exact, mais pour le but que nous nous proposons, l'erreur n'a pas de conséquences sérieuses.

pression absolue P + 1, ce qui est plus simple. Cela dépend des pressions extrêmes considérées dans les comparaisons. Ainsi, si les limites sont 1 et 13,5 comme dans le tableau que nous donnons ci-dessous, le rapport des pressions est 13,5 tandis que le rapport du poids du mètre cube de vapeur à ces pressions est de $\frac{6,731}{0,586}$ ou 11,5, différence 15 0/0, ce qui donne une erreur moyenne de 7,5 0/0 assez forte, comme on voit. Au contraire, si on considérait seulement des locomotives ayant des pressions variant de 10 à 16 *kg* absolus, le rapport des pressions étant 1,6, celui des densités serait $\frac{7,917}{5,095} = 1,55$, différence 3 0/0 seulement, soit une erreur moyenne de 1,5 0/0, ce qui peut paraître négligeable.

Nous avons tenu à introduire dans le tableau la valeur absolue de la surface de chauffe de l'appareil qui joue un rôle. Dans les grandes chaudières, le rapport $\frac{C}{N}$ est, toutes choses égales d'ailleurs, plus grand que dans les petites, parce que la surface de chauffe croît comme le carré de diamètre du corps de chaudière, tandis que la surface de niveau d'eau ne croît que comme le diamètre.

Nous faisons figurer dans ce tableau des chaudières fixes de tous systèmes et quelques chaudières marines anciennes et récentes.

L'examen de ce tableau suggère diverses observations intéressantes. On voit d'abord que la simple donnée du rapport $\frac{C}{N}$ n'a aucune importance si on ne tient pas compte de la pression; telles chaudières qui ont un très faible nombre de mètres carrés de surface de chauffe pour 1 m^2 de surface de niveau d'eau sont mises dans une situation médiocre si cette surface doit laisser sortir un gros volume de vapeur à faible pression, tandis que d'autres ayant un rapport $\frac{C}{N}$ plus grand voient le rapport final s'abaisser beaucoup, grâce à leurs pressions élevées de fonctionnement. Le premier cas est celui des chaudières dites à tombereau (1). Les chaudières à bouilleurs, ce type tout à fait français (2) bien qu'il soit dû, croyons-nous, à un Anglais, Edwards père, est dans d'excellentes conditions, et on ne l'a pas amélioré au point de vue de la siccité de la vapeur en remplissant le corps de tubes, car on a triplé la

(1) L'expression chaudière à *tombereau* est la traduction littérale de l'expression anglaise *waggon boiler*. La désignation, souvent employée en France, de chaudière à *tombeau* ne proviendrait-elle pas d'une faute d'impression primitive?

(2) Notre Collègue, M. Ch. Compère, dans son important et remarquable travail sur les machines et chaudières de l'Exposition de 1900 (*Bulletin* de janvier 1901) indique que M. Hirsch appelait, dans son rapport sur la classe 52 à l'Exposition de 1889, les chaudières à bouilleurs *chaudières françaises*. Il ignorait, évidemment, que l'éminent et regretté Inspecteur général des Ponts et Chaussées avait été devancé, à ce titre, de plus de quarante ans par les Anglais. On trouve, en effet, dans l'ouvrage classique de John Bourne, *Treatise on the Steam Engine*, publié en 1846, à la page 44, un croquis représentant une chaudière à bouilleurs avec la mention : « Fig. 42 represents a species of boiler called the *French Boiler*, in consequence of beeing of French origin. »

surface de chauffe sans modifier la surface d'ébullition. Nous connaissons des cas où cette modification a eu une influence défavorable. Les chaudières de Cornouailles ou Lancashire, avec ou sans addition de tubes Galloway, sont également dans d'excellentes conditions pour donner de la vapeur sèche, même en dehors de leur régime habituel de combustion et de vaporisation lentes.

TABLEAU A.

NUMÉROS	TYPES DE CHAUDIÈRES	C	P	$\frac{C}{N}$	$\frac{C}{8N}$
		m^2	kg		
	Chaudières fixes.				
1	Anciennes chaudières à tombeau	19,5	0,20	2,9	4,14
2	Anciennes chaudières à tombeau avec carneau intérieur	40,7	0,20	4,1	5,86
3	Chaudière cylindrique simple	9,0	5,00	2,6	0,82
4	Chaudière cylindrique avec deux bouilleurs	46,0	6,00	9,5	2,63
5	Chaudière tubulaire avec bouilleurs	168,0	5,50	22,0	6,47
6	Chaudière tubulaire avec bouilleurs	147,0	6,00	17,7	4,85
7	Chaudière de Cornouailles avec un foyer	51,0	5,00	4,5	1,42
8	Chaudière Lancashire avec deux foyers et tubes Galloway	55,2	4,00	5,0	1,88
9	Chaudière tubulaire à foyer circulaire	118,0	5,00	10,0	3,17
10	Chaudière tubulaire verticale pour grue	18,0	8,00	25,0	5,41
11	Chaudière tubulaire verticale	28,0	6,00	41,0	11,23
12	Chaudière verticale à tubes Field	27,0	6,00	9,0	2,47
	Chaudières marines à tirage naturel.				
13	Anciennes chaudières à galeries 2 corps	91,5	0,50	4,5	5,23
14	Anciennes chaudières tubulaires à parois planes. { réglementaires, grilles longues, 8 corps	195,2	1,75	19,2	12,63
15	réglementaires, grilles courtes, 8 corps	164,5	1,75	17,3	11,38
16	Creusot, 8 corps	146,6	1,75	13,2	8,68
17	Mazeline, 4 corps	224,5	1,75	19,5	12,70
	Chaudières marines à tirage forcé.				
18	Chaudières tubulaires cylindriques. { paquebot belge *Marie-Henriette*, simple	164,0	8,25	14,5	3,06
19	croiseur américain *Minneapolis*, double	585,6	11,5	24,0	3,82
20	paquebot allemand *Kaiser Wilhelm der Grosse*, double	602,0	12,5	23,6	3,50

Les chaudières tubulaires verticales sont moins favorisées; il est bon, toutefois, de faire remarquer que, dans le tableau, les surfaces de chauffe

indiquées sont probablement les surfaces totales et que, si on tenait compte seulement de la surface en contact avec l'eau, le rapport $\frac{C}{N}$ s'abaisserait notablement. En tout cas, la surface en contact avec la vapeur agit, dans une assez large mesure, pour sécher la vapeur en vaporisant les gouttes d'eau entraînées. L'inconvénient signalé n'existe pas avec la chaudière Field.

Si nous jetons un rapide coup d'œil sur les chaudières marines, nous trouvons que les anciennes chaudières à galeries étaient très largement proportionnées comme surface de niveau d'eau, mais, de même que les chaudières à tombeau, la faiblesse de la pression leur faisait perdre en partie cet avantage. Les chaudières tubulaires à faces planes étaient assez mal proportionnées et cela se conçoit, les surfaces de chauffe des foyers et des tubes étant superposées sous le même plan d'eau et la pression de régime n'étant pas assez élevée pour racheter cet inconvénient. Il n'est donc pas étonnant que ces générateurs fussent très sujets aux entraînements d'eau.

Les chaudières actuelles à enveloppes cylindriques et tubes en retour, au contraire, sont, grâce à l'élévation de la pression, dans de bien meilleures conditions; il faut, toutefois, observer qu'elles fonctionnent à tirage forcé et que la vaporisation par mètre carré est plus active que dans les chaudières qui précèdent; en effet, on y brûle des quantités de combustible allant à 150 *kg* et plus par mètre carré de grille et par heure au lieu de moins de 100 *kg*; la comparaison n'est donc plus tout à fait exacte. *(A suivre.)*

Bateaux à vapeur sur le Mississipi. — Si l'établissement de voies ferrées dans un sens parallèle à celui des grands cours d'eau des États-Unis a porté un coup très sérieux à la navigation fluviale dans ce pays, il ne faudrait pas croire qu'il ait amené sa disparition. Il y a des classes de marchandises et même de voyageurs qui emploient encore ces moyens de communication, et l'abaissement des tarifs de chemins de fer qui s'est produit depuis une vingtaine d'années n'a pas empêché que le transport par eau est encore meilleur marché que le transport par rails, et le second ne prend une supériorité réelle que lorsque la question de temps entre en jeu, soit pour les marchandises, soit pour les voyageurs.

Il est vrai que les magnifiques vapeurs du Mississipi, qu'on appelait avec raison des palais flottants, ont en partie disparu, et que ceux qui subsistent encore ne sont plus bondés de voyageurs comme autrefois. Mais, en revanche, on voit toujours des flottes de vapeurs pour le transport des marchandises encombrantes sillonner les oaux du Mississipi et de ses tributaires. Les houillères de Pensylvanie alimentent quantité de vapeurs à deux cheminées et roue à l'arrière, qui naviguent sur l'Ohio et l'Alleghany, et les cotons du sud fournissent un trafic analogue aux vapeurs du grand fleuve lui-même.

Ces bateaux de rivière sont un produit purement américain et n'ont d'analogues nulle part ailleurs. Leur forme et l'installation du moteur ont été inspirés par la nature des cours d'eau à faible profondeur, à

passes tortueuses et à courant rapide. Le tirant d'eau est de 1,50 à 1,80 *m* en général, mais descend parfois à 0,45 *m*. Le chargement est à peu près entièrement placé sur le pont. La coque ayant un faible creux, il est nécessaire de répartir les poids de manière à ne pas produire de torsions et la coque est raidie dans le sens vertical, soit par une paire de poutres armées de diagonales allant d'un bout à l'autre, soit par des chaînes armant le pont sous les machines et les chaudières.

La chaudière est généralement placée au tiers de la longueur à partir de l'avant. La propulsion s'effectue par une roue unique placée derrière la poupe carrée du bateau et actionnée par deux machines horizontales à course démesurement longue et placées une de chaque côté; ces machines sont fixées sur le pont. Les bielles qui sont très longues consistent invariablement en une forte pièce de bois armé de fer.

Ces bateaux s'arrêtent un peu partout sur les bords des rivières. Pour faciliter les manœuvres, ils portent à l'avant un ou plusieurs ponts volants suspendus à une grue et levés ou baissés par un treuil à vapeur. Pour aborder, le bateau se dirige droit contre la rive et fait tomber le pont volant; une fois le débarquement et l'embarquement opérés, le pont se relève et le bateau repart, toute l'opération durant à peine quelques minutes.

Les bateaux chargés de coton présentent un aspect très curieux, comme on peut le voir sur des photographies publiées par le *Scientific American*, auquel nous empruntons ces renseignements. A des yeux accoutumés à la navigation maritime, le chargement de ces bateaux paraîtrait extrêmement dangereux, la masse de balles de coton s'élevant depuis le pont à ras de l'eau jusqu'à moitié de la hauteur des cheminées. Mais le coton a une assez faible densité et le centre de gravité est loin d'être aussi élevé qu'on pourrait le croire. De plus, la grande largeur de ces bateaux leur donne une stabilité considérable et, à moins d'être surpris par un coup de vent de travers, d'une violence exceptionnelle, ils courent peu de risque de chavirer.

Un fait à signaler est que, à part des vues générales ou des photographies, il paraît n'avoir jamais été publié de dessins détaillés de ces bateaux, depuis les ouvrages de Stevenson, Dodge et Renwick, dont nous parlions dans une précédente chronique. Peut-être est-ce parce que rien n'y a été changé depuis. Pour qui connaît l'excessif conservatisme des Américains sur certains points, cela n'aurait rien d'étonnant.

Les puits artésiens en Australie. — Les statistiques font voir que, des 8 millions de kilomètres carrés que représente la superficie de l'Australie, 3,2 millions de kilomètres carrés, soit 40 0/0, ne reçoivent annuellement par les pluies qu'une hauteur d'eau inférieure à 0,25 *m*; 2,1 millions de kilomètres carrés, ou 26 0/0, reçoivent de 0,25 à 0,50 *m* et le reste qui constitue les parties centrale et méridionale de ce continent n'a qu'une chute de pluie inférieure à 0,125 *m* par an.

Dans ces conditions, la question d'une alimentation d'eau artificielle prend une énorme importance; bien que l'existence des eaux souterraines eût été étudiée avec soin depuis longtemps, ce n'est qu'en 1879 que ce point fut tranché pratiquement par la découverte d'eaux arté-

siennes à Kallara Run, à la profondeur de 40 *m* environ au-dessous de la surface du sol. Depuis 1894, le Gouvernement a fait faire des recherches d'eau et a fait forer des puits et on estime que, rien que dans les Nouvelles Galles du Sud, les puits artésiens débitent journellement un volume de 350 000 m^3, sans compter l'eau pompée de puits alimentés par des nappes souterraines.

Jusqu'en 1900, le Gouvernement des Nouvelles-Galles du Sud avait fait forer 88 puits dont 6 ne sont pas encore achevés, dit M. Coghlan, le chef de la statistique de ce Gouvernement, dans le huitième volume du *Statistical Account of Australasia*. Sur les 82 puits terminés, 56 sont des puits jaillissants, 18 sont munis de pompes et 7 constituent un insuccès. La profondeur moyenne de ces puits est de 500 *m*, mais cette profondeur varie entre 36 et 1 200 *m*. Cette dernière se rencontre sur un puits situé sur la route de Moree à Boggabilla qui débite 4 350 m^3 par jour. Le puits qui a le débit le plus élevé est celui de Kenmore entre Bourke et Hungerford qui a 465 *m* de profondeur et donne un volume de 9 000 m^3 par jour. Le puits de Moore a une profondeur de 840 *m* et débite 5 000 m^3 ; il présente un intérêt particulier en ce qu'il traverse des formations de la même époque que celles des gisements de houille d'Ipswich. Ce fait montre qu'on peut trouver de l'eau dans d'autres terrains que dans l'étage inférieur de la craie.

Sur les 128 puits forés par l'initiative privée, 16 n'ont pas réussi ; quelques-uns ont des débits allant jusqu'à 18 000 m^3 par jour et le volume total donné par eux est approximativement de 200 000 m^3 par 24 heures. La dépense totale faite par le Gouvernement pour les puits forés dans les Nouvelles-Galles du Sud, y compris les travaux en cours actuellement, les transports et les frais accessoires, s'élève à 6 100 000 *f* en nombre rond, ce qui fait en moyenne 150 *f* par mètre courant de puits.

Jusqu'au 30 juin 1898, le Gouvernement avait fait forer dans le Queensland 41 puits, le Département des Chemins de fer en avait fait faire 11 et l'initiative privée 582. Sur les premiers, 16 donnaient de l'eau et sur les autres 356. Le débit total journalier atteignait 960 000 m^3 par jour. Le puits le plus profond est celui de Bothwell qui a 1 460 *m* ; la profondeur moyenne des puits dans le Queensland est de 353 *m*. Une grande partie de l'eau ainsi obtenue est employée à des irrigations qui s'opèrent sur plus de 2 000 hectares.

Dans l'Australie du Sud, sur 87 puits forés par les soins de l'Administration, 33 seulement ont réussi. Un puits à Strangways et un autre à Coward débitent chacun 5 400 m^3 par jour ; le débit total des puits de la colonie n'atteint que le chiffre de 20 000 m^3 par jour pour une dépense de forage de 4 200 000 *f*.

L'Australie Occidentale possède 16 puits artésiens d'une profondeur cumulée de 4 250 *m* donnant un débit total de 22 000 m^3 par jour. Il faut y ajouter trois puits de 750 *m* de profondeur collective non jaillissants, donnant ensemble 2 400 m^3 par 24 heures. La province de Victoria a tenté beaucoup de forages depuis 1886, mais aucun n'a réussi bien qu'on ait rencontré des eaux artésiennes à Sule, dans le Gippsland, dès 1880.

La température de l'eau des puits des Nouvelles-Galles du Sud varie entre 16° et 60° C. Dans le Queensland, elle descend à 21 à Bingara et s'élève à 93° C. à Dayworth.

L'éclairage électrique des trains de chemins de fer. — Nous trouvons dans l'*Industria* le résumé suivant d'un article de Karl Wallitseeck, paru dans le *Zeitschrift für Elektrotechnik*, sur l'état actuel de l'éclairage électrique des trains de chemins de fer.

L'emploi de l'électricité pour l'éclairage des trains a fait depuis dix ans de tels progrès qu'il peut facilement soutenir la comparaison avec l'éclairage au gaz qui a reçu également de grandes améliorations. Mais si, dans bien des cas, l'éclairage électrique s'est montré supérieur à son rival, diverses raisons, notamment dans le domaine économique, ont empêché jusqu'ici son adoption générale. Des accidents récents, survenus sur les chemins de fer et que l'éclairage au gaz a paru avoir contribué à aggraver dans une certaine mesure, ont ramené l'attention des Compagnies sur l'éclairage électrique.

Des essais comparatifs ont fait voir que, sauf dans des cas spéciaux, la dépense n'est pas plus élevée avec l'éclairage électrique. Parmi les exemples cités par l'auteur du mémoire, le suivant a une grande valeur. L'Administration impériale des postes allemandes, qui possède un matériel spécial pour la production du courant et qui doit, par suite, avoir ce courant à un prix plutôt plus élevé, donne pour 1898 le prix de 0,044 *f* par heure d'allumage avec des lampes de 12 bougies, alors que le prix de l'éclairage au gaz riche lui coûte 0,056 *f* pour la même quantité. En 1898, sur 1 723 voitures de chemins de fer appartenant aux postes allemandes, 1 108 possédaient l'éclairage électrique ; ce nombre est monté actuellement à 1476.

Au chemin de fer Jura-Simplon, la dépense par bougie-heure, d'après un calcul du docteur Büttner, est de 0,0044 *f*.

M. Sartiaux donne, pour le chemin de fer du Nord français, le chiffre de 0,029 *f* par heure d'éclairage pour lampes de 10 bougies. On peut donc admettre que l'éclairage électrique des trains, s'il est effectué sur une échelle un peu grande, n'est pas plus cher que l'éclairage au gaz.

Les divers systèmes d'éclairage électrique des trains peuvent se classer comme suit :

1° Eclairage au moyen de dynamos et d'accumulateurs auxiliaires, cette classe pouvant être subdivisionnée en :

(a) Commande de la dynamo par un moteur à vapeur spécial placé dans une voiture du train ;

(b) Commande de la dynamo par l'essieu d'une des voitures du train ;

2° Éclairage par accumulateurs seulement avec les subdivisions suivantes :

(c) Les accumulateurs étant rechargés hors des voitures dans des stations spéciales ;

(d) Les accumulateurs étant rechargés rapidement dans le train même.

Chacun de ces divers systèmes peut naturellement s'appliquer à l'éclairage d'un train complet comme à celui d'une seule voiture.

Le système désigné par *a* peut s'employer seulement dans le cas d'un train de voitures parcourant de grandes distances avec peu d'arrêts, et traversant éventuellement des pays différents, comme c'est le cas des trains impériaux autrichiens ou russes, dans lequel un fourgon contient les appareils producteurs du courant, lequel est distribué par des conducteurs qui vont le long du train. Les autres voitures portent des batteries d'accumulateurs pour suppléer les dynamos et servir de régulateurs. Ce système a été essayé aussi sur quelques lignes anglaises et américaines, mais a été abandonné comme étant trop coûteux.

Sur le chemin de fer sibérien, on a introduit, à titre d'essai, une disposition dans laquelle une voiture du train porte une chaudière à vapeur et une turbine Laval actionnant une dynamo. Ce système ne peut trouver son application que dans des cas spéciaux.

Le système *b* a été essayé d'abord en Angleterre, puis en Allemagne et les expériences ne lui ont pas été favorables; aussi n'a-t-il pas été appliqué pratiquement.

La dynamo actionnée par l'essieu était placée dans une voiture qui devait envoyer le courant à tout le train et il fallait une batterie d'accumulateurs pour opérer l'éclairage pendant les arrêts. On a essayé en Allemagne en 1886 sur les chemins de fer wurtembergeois et en Autriche les systèmes de Löbbecke et du professeur Dietrich, qui rentrent dans cette catégorie. Les mécanismes pour rendre l'intensité de l'éclairage indépendante de la vitesse de marche du train étaient si compliqués que ces systèmes n'ont pas reçu d'applications.

Pour rendre le principe susceptible d'un emploi pratique, il fallait trouver des dispositions ne présentant pas ces inconvénients. C'est sur ce programme que furent imaginés les systèmes Stone, Auvert, Moscowitz, Vicarino et Dick. Dans le premier, la dynamo est suspendue à l'intérieur du châssis de la voiture de manière à pouvoir osciller; elle est commandée par l'intermédiaire d'une courroie par un des essieux. La voiture porte aussi une batterie d'accumulateurs qui fonctionnent pendant les arrêts et tant que le train n'a pas acquis une vitesse déterminée. Dès que cette vitesse est atteinte, vitesse à laquelle la tension de la dynamo égale celle des accumulateurs, un régulateur à force centrifuge placé sur l'axe de la dynamo fait agir un interrupteur qui met la dynamo et les accumulateurs en circuit parallèle. Si la vitesse vient à augmenter encore, la tension de la dynamo augmente, la batterie se met en chargement et l'éclairage est alimenté par la dynamo seule avec insertion dans le circuit d'un petit rhéostat. Enfin, si la vitesse vient à dépasser une certaine limite, et donne une tension dangereuse pour les accumulateurs et pour les lampes, la dynamo, par l'effet de son mode de suspension excentrique par rapport à l'essieu, se rapproche de celui-ci et la courroie commence à glisser sur la poulie de l'essieu de sorte que la tension ne peut plus augmenter et reste constante. Si on vient à changer le sens de la marche, les pôles se trouvent renversés par le moyen d'un commutateur.

On peut d'ailleurs régler de l'extérieur la tension de la courroie et, par conséquent, le travail de la machine par le moyen d'un volant à main. Ce système serait, d'après les dires de la maison Stone et Cie, lar-

gement employé en Angleterre et a reçu ensuite des applications dans l'Amérique du Sud, au Japon, en Australie et aux États-Unis. Pendant l'Exposition de Paris, trois voitures-restaurant, éclairées par le système Stone, sont venues de Wörgl, dans le Tyrol.

La Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée a construit, sur les indications d'un de ses Ingénieurs, M. Auvert, une voiture dans laquelle la constance de la tension est obtenue d'une manière différente. Il y a aussi une batterie d'accumulateurs qui fournit le courant, quand le train est arrêté, aux lampes et au champ de la dynamo et qui, lorsque la vitesse augmente, vient automatiquement se coupler en parallèle avec la dynamo et, si la vitesse augmente encore, se met en chargement. Dans le circuit de la dynamo se trouve inséré un petit moteur en série dont l'armature est arrêtée par le moyen d'un frein spécial et commence à tourner seulement lorsque l'intensité maxima du courant est atteinte. La force contre-électromotrice du moteur abaisse ainsi la tension de l'appareil de sorte que celle des lampes reste constante. Pour le cas du changement de sens du mouvement de la voiture, l'interversion des pôles s'opère par un commutateur spécial.

Dans le système Moskowitz, la dynamo est actionnée par un plateau de friction avec mouvement différentiel par l'effet duquel la tension reste constamment à 40 volts pour les vitesses supérieures à 40 kilomètres à l'heure. La tension des lampes et des accumulateurs est de 30 volts ; la dynamo agit seule jusqu'à la vitesse de 30 *km*, où la tension est de 40 volts ; au delà les accumulateurs viennent en chargement. Un relais polarisé sert à l'inversion des pôles. Ce système est assez employé en Amérique.

Le système Vicarino ressemble, comme principe, au système précédent, mais l'inversion des pôles, dans le cas de changement de sens de la marche, est obtenu par le moyen du déplacement automatique de 180° des collecteurs. Ces collecteurs sont fixés avec isolation sur un disque qui est entraîné dans le sens de la marche par un toc.

Ce système est en essai au chemin de fer du Midi.

Le système Dick était en principe destiné à l'éclairage des trains complets, mais il semble trouver actuellement son application également à l'éclairage des voitures isolées. La commande de la dynamo se fait par une transmission à engrenages. Jusqu'à ce que la vitesse du train dépasse 20 *km*, la dynamo alimente la batterie et les lampes, tandis que, dans les autres cas, les accumulateurs fournissent le courant d'excitation et le courant des lampes.

Les appareils régulateurs sont : un régulateur pour la dynamo, un interrupteur, un commutateur et un relais ; ils fonctionnent tous automatiquement. Le régulateur de la dynamo sert à faire varier l'excitation de la machine avec la vitesse du train ; l'interrupteur a pour objet de mettre la machine en dehors du circuit ou de l'y faire entrer, selon que la vitesse est inférieure ou supérieure à 20 *km*. Le commutateur sert à renverser les pôles lors du changement de sens de la marche.

Quand les accumulateurs sont chargés et quand ils ont atteint une tension de 25 volts par élément, le relais entre en fonctionnement ; il agit sur le régulateur de la dynamo pour abaisser la tension et empê

cher une charge ultérieure des accumulateurs. Ce système est employé en Autriche.

Malgré cela, l'emploi des accumulateurs seuls se répand; il est employé sur une grande échelle, en Italie, et l'avenir lui semble réservé. Pour les trains complets, on dispose dans l'une des voitures extrêmes ou dans les deux des batteries d'accumulateurs qui fournissent l'éclairage à tout le train.

Une grande installation de ce genre est en service sur les chemins de fer suédois entre Christiania et Helsinsborg; ce système est aussi employé en Danemark. Avec les trains légers ou locaux, une seule voiture est munie d'accumulateurs.

Si on adopte le système de l'éclairage indépendant des voitures, chacune d'elles porte une ou plusieurs batteries, selon le nombre de lampes et la durée du parcours. Jusqu'à ces dernières années, il était nécessaire d'enlever des voitures les accumulateurs déchargés et de les envoyer charger dans des stations spéciales. Aujourd'hui, à la suite des progrès réalisés dans la construction des accumulateurs, on peut charger en deux heures et même moins des accumulateurs pouvant donner 30 à 36 heures de fonctionnement; on n'a plus, dès lors, besoin d'enlever les batteries déchargées des voitures pour les remplacer par des fraîches.

Éclairage par incandescence au pétrole, système Washington. — Nous extrayons ce qui suit d'une communication faite à l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège (section de Charleroi), par M. J. Beco, Ingénieur des Mines de la Providence, à Marchienne-au-Pont.

Le succès des becs Auer pour l'éclairage au gaz a poussé les inventeurs à adapter à l'éclairage au pétrole les manchons imprégnés d'oxydes de terres rares. L'emploi en est d'autant plus justifié que le pouvoir calorifique du pétrole est de 11 000 calories, alors que celui du gaz ne dépasse guère 6 000.

La vapeur de pétrole, en brûlant dans un bec Bunsen, est donc capable de développer une chaleur intense, propre à rendre les manchons incandescents. C'est sur ce principe qu'est basée la lampe Washington, qui fonctionne avec de l'huile de pétrole. Celle-ci est contenue dans un réservoir cylindrique en tôle, placé dans un endroit quelconque des bâtiments à éclairer. Le réservoir est rempli de pétrole, jusqu'à moitié de sa hauteur environ; au moyen d'une petite pompe à main, on foule de l'air dans le réservoir, de façon à y amener une pression de 4 à 6 *atm*. Cette pression force le pétrole à circuler dans une canalisation en tubes de laiton de faible diamètre (1 à 4 *mm*) qui le conduit à chaque appareil d'éclairage. Les lampes pouvant marcher régulièrement avec une pression, dans la canalisation, variant de 3 à 6 *atm*, l'éclairage peut fonctionner plusieurs heures, sans qu'il soit nécessaire de repomper de l'air dans le réservoir. Celui-ci est, d'ailleurs, disposé de manière qu'on puisse y introduire de l'air ou du pétrole, quand il est en pression.

Arrivée à la lampe, l'huile entre dans le *vaporisateur*, tube vertical en acier placé au centre des trois manchons et chauffé par leur voisi-

nage. Le pétrole s'y gazéifie; la vapeur produite s'écoule dans un tube en forme de lyre où elle se mélange avec une certaine quantité d'air. Le mélange de vapeur de pétrole et d'air parcourt la lyre pour venir s'enflammer sous chacun des trois brûleurs que surmontent les manchons. Le vaporisateur est traversé par une longue aiguille d'acier, dont l'extrémité vient s'engager dans l'orifice conique par où s'échappe la vapeur de pétrole; elle permet ainsi de régler le débit, en même temps qu'elle sert à décrasser la pointe de vaporisation des particules charbonneuses qui s'y déposent.

Avant d'allumer, il est nécessaire d'échauffer le vaporisateur. Pour cela, on brûle de l'alcool dans un godet disposé à la base des brûleurs. Quand le vaporisateur est suffisamment chaud, on ouvre le robinet placé sur la canalisation et l'on admet progressivement le pétrole, en réglant le débit au moyen de l'aiguille décrite ci-dessus.

Une fois amorcée et réglée, la lampe continue à brûler, en donnant une lumière intense et stable dont l'éclat se rapproche beaucoup de celui des lampes à arc.

Le type habituellement employé est la lampe de 750 bougies à trois manchons qui donne, autant que l'auteur a pu le mesurer, le même éclairement qu'une lampe à arc de 8 ampères. La dispersion de la lumière est meilleure que dans la lampe à arc, où la source de lumière est concentrée en ce point, tandis que, dans la lampe Washington, elle est répartie sur les trois manchons.

L'installation est très rapide et revient environ à 190 *f* par lampe, tous frais compris. C'est le quart d'une installation électrique.

L'entretien doit être fait avec soin mais ne nécessite pas d'ouvriers spéciaux.

Le remplacement des manchons et la nécessité de l'amorçage à l'alcool sont les deux sujétions les plus défavorables du système.

Les petites lampes à deux manchons ne paraissent guère recommandables. D'ailleurs, la chaleur et le sifflement occasionnés par la combustion rendent ce système peu approprié à l'*éclairage intérieur* des habitations ou des bureaux.

En résumé, l'éclairage Washington est appelé à rendre de grands services dans les installations fixes de moyenne importance où l'on a besoin de foyers puissants. Il est tout indiqué pour l'éclairage des chantiers d'entreprise de travaux publics ou de construction d'usines.

Le prix de revient de l'éclairage par ce système est, tous frais compris, moins cher que celui de l'éclairage électrique dans une installation moyenne éclairant moins de 3 000 heures par an.

Il résulte, d'essais faits par la Compagnie des chemins de fer du Nord, que la lampe de 750 bougies ne consomme que 270 *g* de pétrole par heure.

La roue hydraulique Cassel. — Nous trouvons dans les journaux anglais la description d'une roue hydraulique contenant une disposition très originale. Cette roue, due à M. Elmer F. Cassel, de Seattle, appartient au genre de moteurs où l'eau agit par son impulsion sur des godets doubles et dont la roue Pelton est le prototype. Mais elle offre

ceci de particulier, que la vitesse est réglée automatiquement par la roue elle-même. A cet effet, le corps de la roue est divisé en deux moitiés suivant un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. Ces deux moitiés sont calées sur l'arbre de manière à tourner avec lui, mais peuvent glisser le long de cet arbre, de manière à pouvoir s'écarter plus ou moins l'une de l'autre.

Deux ressorts à boudin, parallèles à l'axe, maintiennent les deux moitiés en contact l'une avec l'autre, de manière que l'ensemble forme une roue Pelton. L'arbre porte à l'intérieur une pièce qui tourne avec lui et porte deux leviers ayant chacun une masse qui, suivant la rotation plus ou moins rapide de l'appareil, s'écarte plus ou moins de l'axe sous l'action de la force centrifuge; ces leviers agissent sur les deux moitiés de la roue et tendent à les écarter l'une de l'autre en surmontant l'action des ressorts dont il a été question. On conçoit qu'à mesure que les deux moitiés de la roue s'écartent l'une de l'autre, les augets reçoivent moins d'eau de l'injecteur, une partie de cette eau passant entre les deux demi-roues sans produire d'effet, de sorte qu'il s'effectue un réglage automatique de la vitesse. De plus, il est impossible que la machine s'emporte par suite d'une suppression instantanée de la résistance.

Des essais faits sur une roue de ce type le 11 novembre 1900 à la station des machines élévatoires d'Everett, Washington (États-Unis) a donné les résultats suivants. La roue avait 0,455 *m* de diamètre et l'injecteur 0,015 *m*. La charge d'eau variait de 71 à 78 *m*. On a constaté que la vitesse sans charge étant de 595 tours par minute, la vitesse à charge entière était de 575, soit une diminution de 4,5 0/0. Mais si on prend des variations ordinaires en pratique, c'est-à-dire des 2/5e et 3/5e à pleine charge et inversement, la variation de vitesse a été respectivement de 1,7 et 0,8, ce qu'on peut considérer comme très satisfaisant.

Le journal *Engineering*, du 14 juin 1901, donne, page 768, des dessins détaillés de la roue Cassel.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES MINES

2e livraison de 1901.

Discours prononcés aux funérailles de M. E. Vicaire, Inspecteur général des Mines, par MM. Lorieux, Inspecteur général des Mines, et A. Carnot, Directeur de l'École nationale supérieure des Mines.

Note sur **le minerai de fer carbonaté de Normandie** et sur la calcination des carbonates de fer au four à cuve, par M. L. Pralon, Ingénieur civil des Mines.

La Société des hauts fourneaux, forges et aciéries de Denain et d'Anzin, qui avait besoin de minerai plus riche que celui qu'elle faisait venir de Lorraine pour le mélanger à celui-ci, a fait des recherches méthodiques dans le terrain silurien normand où on exploite déjà du minerai dans certaines régions du Calvados et des départements limitrophes, recherches qui ont fait constater la possibilité d'exploiter des minerais carbonatés d'une teneur de 40 0/0 en fer, laquelle, par un simple grillage, peut être amenée à 54. Mais on ne peut guère compter que sur une couche de 2 *m* à 2,50 *m* de puissance.

La note reproduit, d'après un travail de S. Jordan, publié dans la *Revue Universelle des Mines*, la théorie d'un fait curieux : le grillage des minerais au four à cuve, presque sans consommation de combustible. Voici, en effet, comment les choses se passent. Il y a :

1° La dissociation du carbonate de fer en acide carbonique et protoxyde ;

2° La transformation du protoxyde en peroxyde, combustion qui se fait aux dépens de l'oxygène de l'air avec production de chaleur.

Or, la production de chaleur de la deuxième opération est supérieure à l'absorption de chaleur de la première, et l'excédent de chaleur disponible serait théoriquement de 69 calories par kilogramme de carbonate de fer, ce qui est presque exactement la quantité de chaleur nécessaire pour élever à la température de 400°, qui est celle de sa dissociation, le kilogramme de carbonate de fer.

En pratique, il y a des pertes à compenser, mais on peut facilement réduire la consommation de combustible à 10 *kg* de houille par tonne de minerai calciné, soit 7,5 *kg* par tonne de minerai cru.

Note sur **les gisements de Tipuani (Bolivie)**, par M. Frochot, Ingénieur civil des Mines.

Cette note étudie les gisements aurifères de Tipuani, leur constitution géologique et leur exploitation qui est très ancienne, mais est actuellement peu intense, à cause de l'insuffisance des moyens de transport et de la main-d'œuvre.

L'étain en Bolivie, par M. M. Frochot.

Il y a en Bolivie des gisements d'étain très considérables. Dédaignés par les Espagnols, ils ont été exploités depuis et cette exploitation est actuellement très active. La production du minerai a atteint, en 1899, le chiffre de 9 000 *t* représentant 5 140 *t* d'étain en barre d'une valeur de 14 millions de francs. Cette production a quadruplé à peu près depuis 1895.

3e livraison de 1901.

Statistique de l'industrie minérale de la France. — Tableaux comparatifs de la production des combustibles minéraux des fontes, fers et aciers en 1899 et en 1900.

Il a été produit en France, en 1900, 33 270 000 *t* de combustibles minéraux, dont 32 587 179 de houille et anthracite et 683 206 de lignite. Ce total est en augmentation de 407 673 *t* sur l'année 1899.

Le Nord et le Pas-de-Calais ont produit 20 242 000 *t*, ce qui représente 62 0/0 de la production totale de houille et anthracite de la France. Après, vient la Loire avec 3 815 900 *t*, le Gard avec 1 977 000 et Saône-et-Loire avec 1 579 000.

Pour le lignite, le bassin du Faveau a produit 564 000 *t* sur un total de 683 000, soit 82 0/0. Après, vient le bassin de Manosque avec 58 000 et ceux du Gard avec 1900 ; ces trois bassins représentent 94 0/0 de la production de lignite de la France. Cette production totale est, en 1900, en augmentation de 77 000 *t* environ sur l'année précédente, soit près de 12 0/0.

Il a été produit, en 1900, un total de 2 700 000 *t* de fonte ou 121 000 *t* de plus qu'en 1899. Sur ce total, on compte 2 670 000 *t* de fonte au coke, 15 000 de fonte au bois et 14 000 de fonte mixte.

La production de fer s'est élevée à 745 000 *t* en diminution de 88 000 *t* sur l'année précédente. Sur ce chiffre, on compte 478 000 *t* de fer puddlé, 7 000 de fer affiné au charbon de bois et 260 500 de fer obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons. Il n'a été fait que 621 *t* de rails en fer, chiffre presque identique à celui de 1899, qui était de 609.

Pour l'acier, la production a été de 1 624 000 *t* de lingots, soit 125 000 de plus qu'en 1899. Sur ce total, il y a 954 000 *t* d'acier Bessemer et 670 000 *t* d'acier Siemens-Martin.

La production des aciers ouvrés s'est élevée à 1 265 000 *t*, en augmentation de 25 000 *t* sur l'année précédente. Sur ce total, on trouve 296 000 *t* de rails, soit 40 000 de plus qu'en 1899 et 302 000 *t* de tôles, ou 23 000 de plus que l'année précédente.

L'acier fondu au creuset figure pour 17 000 *t*, soit presque exactement le chiffre de l'année précédente. Pour les lingots, c'est le département de Meurthe-et-Moselle qui tient toujours la tête avec 572 000 *t* ; après, vient le Nord avec 274 000. Ces derniers chiffres sont en augmentation notable sur 1899.

Du contrat de travail dans les mines saxonnes sous le régime du Code civil allemand, par M. M. Bellom, Ingénieur des Mines.

De cette étude, l'auteur croit pouvoir tirer les conclusions suivantes

dont se dégagent des enseignements d'une portée plus générale : d'une part, les controverses qui résultent de la coexistence, dans la loi minière et dans le Code civil ou dans la loi industrielle, de dispositions similaires, mais non identiques permettent de penser que de telles dispositions, qui n'intéressent pas exclusivement le personnel des mines, ne sont pas à leur place dans des textes spéciaux au droit minier ; d'autre part, les difficultés que présente l'application de certaines mesures de la législation générale démontrent la nécessité de prévoir, dans cette législation même, la conclusion de conventions particulières entre les intéressés et de laisser le règlement des cas d'espèces à la jurisprudence autorisée des tribunaux compétents.

Les machines à vapeur des groupes électrogènes à l'Exposition de 1900, par M. A. ABRAHAM, Ingénieur des Constructions navales.

L'auteur passe en revue les machines des groupes électrogènes de l'Exposition et en fait ressortir les particularités de disposition et de détail. Comme conclusion, il indique le programme d'après lequel, selon lui, devrait être établie une machine pour répondre aux derniers perfectionnements.

Pression de 10 à 12 *kg*. surchauffe ne dépassant pas 320° à l'entrée de la machine. Retour au type Compoud à deux cylindres avec manivelles à 180°; distribution par soupapes ou pistons-valves au cylindre à haute pression. Distribution Corliss pour le cylindre à basse pression. Condenseur indépendant, de préférence à surface. Ces dispositions générales, avec des détails bien étudiés, permettraient de ne pas dépasser, pour de fortes machines, une dépense de vapeur de 4,2 *kg* par cheval indiqué et par heure.

Avec une production de vapeur surchauffée de 8 *kg* par kilogramme de combustible, la consommation de charbon ne dépasserait pas, pour une forte machine, 0,525 *kg* par cheval indiqué heure, et 0,565 *g* au plus pour une machine de 100 *ch*.

Dans ces conditions, les machines à vapeur, avec les qualités de douceur et de régularité de marche qui les caractérisent, restent sur le même pied que les meilleurs moteurs à gaz pauvre.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE.

MAI 1901.

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE.

Séance du 4 mai 1901.

- Communication, de M. BEUTTER sur **la compression de l'acier par tréfilage.**

Cette communication qui est la suite d'une précédente sur le même

sujet (Voir comptes rendus de mai 1901, page 787), a pour objet d'exposer les résultats obtenus avec la compression de l'acier liquide par tréfilage.

Les avantages sont :

1° Amélioration de la surface extérieure du lingot et suppression des criques profondes partant de cette surface; possibilité de couler des lingots ronds;

2° Suppression de la poche de retassement et diminution de la chute supérieure;

3° Suppression des porosités et tensions intérieures;

4° Suppression des grands clivages intérieurs;

5° Amélioration de l'état moléculaire;

5° *bis* Diminution de la liquation;

6° Amélioration des résultats donnés par essais mécaniques faits à même distance relative des extrémités du lingot brut;

7° Diminution du corroyage nécessaire pour arriver au maximum de qualité de la pièce forgée ou laminée.

La note, après avoir examiné en détail chacun de ces avantages, s'étend sur les avantages économiques du procédé, qui peuvent se résumer par le fait qu'on peut utiliser 25 0/0 du lingot de plus qu'à l'ordinaire. Il est donné quelques indications appuyées de figures sur les installations de diverses importances.

Communication de M. Vinsonneau sur **l'examen optique des surfaces intérieures et extérieures des tubes de chaudières à vapeur.**

Cet examen se fait au moyen d'un scrutateur composé d'un tube à une extrémité duquel une lampe électrique éclaire une portion de la surface intérieure du tube à examiner; l'image est réfléchie sur un deuxième miroir pour y être analysée par une lunette grossissant de cinq à vingt fois.

Le tube peut traverser une chambre claire où un deuxième scrutateur grossissant analyse la surface extérieure minutieusement.

La note insiste sur la nécessité qu'il y a à faire un examen attentif des défauts des tubes, lesquels peuvent donner lieu à de graves accidents.

Note complémentaire de M. de Gennes sur **les déhouilleuses.**

Compte rendu par M. Verney d'un ouvrage de M. Ch. Vertougen intitulé : **Etude théorique et pratique sur l'emploi des câbles plats en aloès.**

Cette étude, la plus complète qui ait été publiée jusqu'ici sur la question, présente d'autant plus d'intérêt que les câbles en aloès apparaissent actuellement, du moins en France et en Belgique, comme très capables de s'adapter aux conditions d'extraction à grandes profondeurs. C'est ce qui ressort d'idées émises à ce sujet au Congrès international des mines et de la métallurgie.

District de Paris.

Séance du 10 mars 1901.

Communication de M. de Gennes sur **l'exploitation mécanique dans les houillères et carrières des Etats-Unis.**

Communication de M. Demenge, sur **les moteurs à gaz pauvres de grande puissance.**

Nous n'insisterons pas sur cette question qui a été longuement traitée dans la séance de notre Société du 5 mai dernier. Nous nous bornerons à indiquer que l'auteur de la présente communication, après avoir développé les trois difficultés que rencontrait le moteur à gaz : le refroidissement, le graissage et l'épuration du gaz, s'occupe plus particulièrement du moteur Œchelhaueser et de ses avantages et de ses inconvénients.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 24. — *15 juin 1901.*

Station de force motrice du chemin de fer métropolitain de Vienne, à Heiligenstadt, par C. Budil.

Installation électrique pour le déchargement du charbon au port de Rotterdam.

Concours pour le projet d'un pont-route sur le Neckar, près Mannheim, par C. Bernhard.

Dispositions générales de fabriques, par F. A. Brockhaus, à Leipzig.

Groupe de la Thuringe moyenne. — Transmission pour poinçonneuse, cisaille, etc., de John.

Groupe de Würtemberg. — Voitures automobiles pour chemins de fer.

Bibliographie. — L'indicateur et son emploi, par P. H. Rosenkrauz.

Revue. — Communication par tunnel entre Boston et Boston-Est. — Développement de la construction des locomotives en Amérique. — Emploi des gaz de hauts fourneaux pour la production directe de la force motrice.

N° 25. — *22 juin 1901.*

Construction du chemin de fer aérien de Manhattan, à New-York, par F. Müller von der Werra.

Exposition universelle de 1900. — Les appareils de levage, par Kammerer *(suite).*

Concours pour le projet d'un pont-route sur le Neckar, près Mannheim, par C. Bernhard *(suite).*

Groupe de Thuringe. — Unification du filetage des tubes pour conduites de gaz.

Groupe de Würtemberg. — Fête commémorative de Robert Mayer à Heilbronn.

Revue. — Exposition universelle de 1900. — Utilisation des forces naturelles et développement de l'industrie canadienne. — Société d'études pour chemins de fer électriques à grande vitesse. — Congrès pour la défense de la propriété industrielle. — Bateau pliant.

N° 26. — *29 juin 1901.*

Le vapeur à hélice *Cap Verde.*

Construction du chemin de fer aérien de Manhattan, à New-York, par F. Müller von der Werra *(fin).*

Dispositions générales de fabriques, par F. A. Brockhaus, à Leipzig *(fin).*

Élévations d'eau à moteur électrique, par H. Hoffmann.

Groupe de Siegen. — Production électrolytique des métaux.

Revue. — Emploi des accumulateurs pour la traction sur tramways et chemins de fer. — Traction électrique sur les canaux. — Loch électrique pour la navigation. — Bateaux sous-marins américains.

Pour la Chronique et les Comptes Rendus :
A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

Ire SECTION

Procédés généraux de construction. — *Travaux d'art*. Tome Ier, par A. DE PRÉAUDEAU, Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées, avec la collaboration de E. PONTZEN, Ingénieur civil.

L'Encyclopédie des Travaux publics publie sous le titre « Procédés généraux de construction, *Travaux d'art*, Tome Ier » (1) une partie des leçons que M. de Préaudeau professe depuis plusieurs années à l'École des Ponts et Chaussées. Ces leçons ont été amplifiées avec la collaboration de M. Pontzen, qui disposait de nombreux documents sur les travaux exécutés à l'étranger. Les auteurs ont divisé l'étude de la construction des ouvrages d'art en deux parties concernant : l'une, les Éléments, et l'autre, l'Exécution même des ouvrages.

Le premier chapitre (Généralités) traite des questions qui se présentent dans l'étude des ouvrages d'art, envisagés seulement au point de vue de leur mode de construction.

La reconnaissance des terrains au moyen de sondages, l'étude des circonstances principales qui influent sur le choix d'un système de construction et surtout de fondation, la classification des terrains en ce qui concerne leur résistance aux charges et aux affouillements, sont les objets principaux de ce chapitre, dont les indications seront développées dans le deuxième volume, notamment par l'examen détaillé des différents modes de fondation.

Le second chapitre (Qualités et Mode d'emploi des matériaux) résume les données principales que les constructeurs doivent avoir à leur disposition pour exécuter, d'une manière judicieuse, les ouvrages en maçonnerie, en bois ou en fer; l'emploi des armatures métalliques, dans les maçonneries et les constructions en ciment armé, y est passé en revue.

L'objet du troisième chapitre (Travaux préparatoires) comprend les mains-d'œuvre nécessaires pour préparer l'emplacement d'un ouvrage ou pour atteindre le terrain solide à travers des couches inconsistantes.

Les terrassements généraux, exécutés à bras ou à l'aide d'engins mécaniques (excavateurs ou dragues), l'extraction des roches, les dérochements sous l'eau, les fouilles des ouvrages, l'emploi des pieux et des palplanches en bois ou en fer et des colonnes métalliques, les batardeaux et les épuisements, sont étudiés dans des exemples variés, illustrés par de nombreuses figures, qui résument des faits d'expériences soigneusement classés et discutés.

Enfin le quatrième chapitre (Travaux accessoires) est consacré aux installations provisoires, nécessaires pour faciliter le travail des ouvriers et le transport des matériaux : chemins et ponts de service, échafaudages

(1) In-8°, 250 × 165 de 707 p. avec 508 fig. Paris, Béranger, 1901.

et cintres; pour ceux-ci, des exemples intéressants ont été empruntés à de grands ouvrages de construction récente.

Ce volume ne constitue que la première partie de l'ouvrage sur les « Travaux d'art »; cependant, l'importance des matières traitées et leur développement forment un ensemble assez complet pour qu'il puisse être utilement consulté par les constructeurs; ils y trouveront l'indication précise des sources d'où proviennent les nombreux documents qui y sont analysés et discutés.

IIe SECTION

Calcul et construction des coupoles métalliques réticulaires (1), par Pierre-Henri Brunelli, traduit de l'italien par Désiré Mathieu, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Les coupoles forment un moyen de couvrir de grands espaces sans points d'appuis intermédiaires. Leur exécution en charpentes métalliques ne date guère que du commencement du siècle et s'est perfectionnée en même temps que les méthodes de calcul.

M. Mathieu, Ingénieur des Arts et Manufactures, présente une traduction d'une série d'articles que M. l'Ingénieur italien Brunelli a publiés sur ce sujet en 1899. Dans la première partie l'auteur indique la méthode de calcul de Schwedler, qu'il considère comme utile pour les travaux de peu d'importance et pour les avant-projets.

La seconde partie est consacrée à l'étude du calcul dans toute sa généralité. Nous y signalons une étude très intéressante des systèmes réticulaires dans l'espace, précédant l'exposition des méthodes directes de calcul des coupoles. Cette étude offre un intérêt général qui en rend la lecture utile indépendamment du sujet spécial où elle est insérée.

Au chapitre VI, M. Mathieu retrouve l'extension d'une théorie de M. Willot, sous-ingénieur français, théorie déjà signalée par M. Seyrig. M. Mathieu lui consacre un appendice à la suite de la traduction.

Cet ouvrage contient des exemples, des détails de construction qui achèvent de faire du travail de M. Brunelli un ouvrage complet tant au point de vue de la détermination des dimensions qu'au point de vue de la construction des coupoles.

Al. Gouilly.

(1) In-8° 250 × 165 de IX-216 p. avec 101 fig. Paris, Veuve Dunod, 1901. Prix broché, 10 francs.

Le Gérant, Secrétaire Administratif,
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 12856-6-01. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

D'AOUT 1901

N° 8.

CONTRIBUTION

A LA THÉORIE ET AUX APPLICATIONS

DE

LA NOMOGRAPHIE

PAR

M. Rodolphe SOREAU

I. — Préliminaires.

1. — *Objet et utilité de la Nomographie.* — Les géomètres du siècle dernier donnaient à la résolution graphique des équations le nom expressif de *Calcul par le trait*, qui indique nettement le but et l'utilité des abaques.

D'un usage longtemps fort restreint, ce mode de calcul a pris, depuis quelques années, un développement considérable, et l'on peut aujourd'hui résoudre, par simple lecture, nombre de formules, souvent compliquées, qui se rencontrent dans la pratique des arts industriels. Il en résulte une grande économie de temps, et par conséquent d'argent, surtout si l'opération est répétée, comme c'est le cas, par exemple, pour les murs de soutènement d'un quai, l'établissement d'un aqueduc, les déblais et les remblais d'une voie ferrée ou d'une route de grande longueur, etc. Nous rappellerons la construction de la route de Tananarive à Moramanga, qui comportait 275 000 m^3 de terrassements et 45 000 m^3 de maçonnerie : grâce à l'emploi systématique des abaques, deux officiers du génie ont pu établir l'avant-projet en deux jours (1).

Parfois, la rapidité est imposée par des considérations plus essentielles ou d'un ordre plus élevé : ainsi, la rectification de route d'un navire doit évidemment se faire peu après les observations ; ainsi encore, les tirs de guerre, les travaux militaires en campagne, les travaux aux colonies, comme celui qui vient

(1) Lieutenant BELHAGUE, *Revue du Génie*, 1898.

d'être rappelé, ont besoin d'être conduits avec célérité, car l'économie de temps se traduit alors par une économie de vies humaines.

Ces quelques lignes justifient amplement l'emploi des abaques et montrent quel intérêt il y a, pour l'Ingénieur, à se familiariser avec leur tracé. Au reste, la Nomographie, — pour employer le nom donné à la théorie des abaques par M. d'Ocagne, qui en a fait, le premier, un corps de doctrine, — n'est pas seulement une méthode de calcul rapide : elle peut être un auxiliaire particulièrement précieux dans la recherche des lois naturelles.

A ces titres divers, cette nouvelle venue dans le domaine de l'Ingénieur nous a semblé digne d'être étudiée dans notre *Bulletin*, en attendant qu'elle prenne place dans l'enseignement des écoles techniques. En dépit du caractère abstrait des principes dont elle relève, elle séduira, croyons-nous, par la diversité de ses applications, par l'élasticité de ses méthodes, par l'ingéniosité et la force réelle de ses procédés d'investigation.

2. — *Historique succinct.* — Du jour où Descartes imagina de rapporter les figures planes à deux systèmes de coordonnées, la représentation graphique des équations à 2 variables était virtuellement acquise; et la Géométrie analytique, conséquence immédiate de cette convention, allait substituer de puissantes méthodes générales aux constructions, plus élégantes peut-être, mais par trop limitées, de la Géométrie pure.

Les coordonnées cartésiennes se prêtent également à la représentation graphique des lois expérimentales pour lesquelles un élément varie en fonction d'un autre : aussi, peu à peu, physiciens, chimistes, ingénieurs, les ont-ils utilisées. Aujourd'hui, leur emploi s'est répandu au point que les personnes les plus étrangères à la science traduisent volontiers par des courbes les observations les plus vulgaires.

La représentation plane des équations à 3 variables est d'origine plus récente. Il semble que Buache (1) imagina le premier, en 1752, de figurer les mouvements du terrain par les courbes de niveau; puis, en 1795, Pouchet (2) établit, à l'aide de lignes cotées, des abaques pour les opérations usuelles de l'arithmétique; Obenheim (3) et Piobert (4) se servirent aussi de lignes

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1752.
(2) *Arithmétique linéaire*, 1795.
(3) *Balistique*, 1814.
(4) *Mémorial de l'Artillerie*, 1826.

cotées dans divers problèmes de balistique ; enfin, en 1830, Terquem (1) montra la généralité de ce mode de représentation des équations à 3 variables.

Mais l'application étroite de ces principes était bien restreinte. Alors, comme il arrive toujours, l'intérêt, parfois même la nécessité de calculer rapidement les formules, souvent complexes, qui envahissaient les arts industriels, firent naître des artifices nouveaux. Pour ne citer qu'un des exemples les plus topiques, l'établissement des voies ferrées créa le besoin d'évaluer rapidement les terrassements énormes que comportent de semblables travaux : dans ce but, Davaine (2) imagina le premier abaque de cubature ; puis, en 1846, Léon Lalanne (3) inventa, pour la solution du même problème, le principe de l'anamorphose, ou substitution de réseaux rectilignes à des réseaux curvilignes ; la généralisation de ce principe devait, quarante ans plus tard, donner une orientation nouvelle à la représentation graphique.

En effet, c'est seulement dans ces quinze dernières années que l'on est parvenu à édifier graduellement la théorie des abaques. En 1884 et 1885, M. Massau (4), Ingénieur au corps belge des Ponts et Chaussées, précisait l'œuvre de Lalanne, en déterminant la forme générale des équations à 3 variables susceptibles d'anamorphose ; puis, pour les mêmes équations, M. d'Ocagne (5), professeur à l'École des Ponts et Chaussées, faisait connaître sa méthode des points alignés, qui consiste à remplacer chaque réseau rectiligne coté par une simple courbe cotée, et qui eut un rôle capital dans l'évolution des méthodes ; d'autre part, M. Lallemand (6), directeur du Service général du nivellement de la France, imaginait ses ingénieux abaques hexagonaux, d'une si réelle élégance.

Bientôt les résultats acquis furent étendus aux équations à plus de 3 variables, grâce à deux conceptions nouvelles : les échelles binaires de M. Prévot et les points à 2 cotes de M. d'Ocagne ; conceptions qui ont été élargies elles-mêmes par

(1) *Mémorial de l'Artillerie*, 1830.

(2) *Mémoires de la Société des sciences de Lille*, 1845.

(3) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1846.

(4) *Annales de l'Association des Ingénieurs de Gand*, 1884. En citant le nom de M. Massau, nous croyons utile d'appeler l'attention de nos Collègues sur l'important travail de cet Ingénieur relatif à la théorie graphique des forces d'inertie, travail publié dans les mêmes *Annales* en 1890 et 1891. M. Boulvin signale, dans son *Cours de Mécanique* (tome V, *Machines à vapeur*), l'utilité de cette théorie pour l'établissement des machines à vapeur.

(5) *Annales des Ponts et Chaussées*, 18?6.

(6) *Feuilles autographiées*, 1885, et *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1886.

les échelles multiples de M. Lallemand. Ces divers procédés s'appliquèrent avec une particulière aisance, qui leur donna un caractère vraiment pratique, aux abaques hexagonaux et aux abaques à points alignés; nous montrerons qu'ils s'appliquent avec une égale souplesse aux abaques à double alignement, grâce à la forme que nous avons donnée aux équations à 4 variables susceptibles d'être représentées par cette classe intéressante d'abaques. On put ainsi représenter des équations de formes très compliquées, par exemple celle de la déviation du compas, dont M. Lallemand donna un fort bel abaque, reproduit plus loin (173).

Tous ces travaux ont été brillamment exposés par l'un des principaux artisans de la Nomographie, M. d'Ocagne, en particulier dans son remarquable *Traité de Nomographie*, paru en 1899 (1); l'auteur y étudie longuement les méthodes imaginées jusqu'alors, en donne de nombreuses applications, puis, dans un essai de synthèse basé sur la notion du contact, classe les diverses variétés d'abaques susceptibles de représenter une équation à un nombre quelconque de variables. « Bien qu'il existât des abaques, et des plus élégants, avant les recherches de M. d'Ocagne, écrit fort justement le capitaine Lafay (2), c'est à ce savant ingénieur que revient le mérite d'avoir, comme Monge le fit autrefois pour la Géométrie descriptive, réuni en un corps de doctrine une foule de résultats épars, auxquels il a d'ailleurs ajouté d'importantes découvertes personnelles. »

Nous avons nous-même apporté notre contribution à cette science nouvelle en nous inspirant des travaux que nous venons de rappeler et tout particulièrement de ceux de M. d'Ocagne. C'est ainsi que nous avons complété la théorie des équations à 3 variables représentables par des abaques à simple alignement formés de 3 droites, — cas qui se présente fréquemment dans les applications — et que nous avons institué une méthode pratique pour obtenir, dans le cas le plus général, les équations de ces droites. D'autre part, nous avons établi la théorie des équations à 4 variables représentables par des abaques à double alignement formés de 4 courbes, représentation qui n'avait été

(1) *Traité de Nomographie: théorie des abaques; applications pratiques*. Gauthier-Villars, 1899.

(2) *Revue d'Artillerie*, septembre 1899.

envisagée que sous des formes et dans des cas particuliers. Nous avons été conduit ainsi à d'importantes généralisations.

De même, en effet, qu'une grande partie de l'effort de M. d'Ocagne a porté sur l'alignement simple et sur les généralisations si fécondes qui en découlent, de même notre théorie générale du double alignement, d'une fécondité égale à celle de l'alignement simple, donne, comme nous le verrons, des représentations graphiques très claires d'équations très compliquées, ayant 8 variables et plus. A ce point de vue, nos échelles multiples ne contenant que des courbes cotées, à l'exclusion de tout réseau coté, sont d'un emploi très utile.

Nous avons tenu à publier tout d'abord ces recherches dans le Bulletin de la Société des Ingénieurs civils, en reconnaissance des deux prix dont elle nous a honoré.

3. — *Particularités du présent Mémoire.* — En dehors de ces Chapitres inédits, nous avons été amené, par un examen attentif du problème, à adopter une classification nouvelle basée sur la notion de ce que nous appelons l'ordre nomographique.

Cette innovation ne nous paraît pas seulement intéressante au point de vue didactique. Une bonne classification n'est jamais sans utilité : celle que nous proposons met en lumière l'esprit des méthodes, et groupe les diverses sortes d'abaques qui ne sont que des traductions différentes d'une même conception analytique, par exemple, pour les équations à 3 variables, les abaques à 3 réseaux de droites, les abaques à points alignés de M. d'Ocagne, et, comme cas particulier, les abaques hexagonaux de M. Lallemand; par exemple encore, pour les équations à 4 variables, les abaques à double alignement parallèle de M. Beghin, les abaques à double alignement en équerre du capitaine Goedseels, les abaques à double alignement concourant de M. d'Ocagne, tous cas particuliers de nos abaques proportionnels. En outre, l'ordre nomographique a l'avantage de déterminer *a priori* les caractères géométriques d'un type d'abaque, s'il existe, suivant les caractères fonctionnels de l'équation : la classification d'après cet ordre est donc éminemment rationnelle.

D'autre part, nous avons jugé avantageux de faire un emploi *systématique* des déterminants, et de recourir *exclusivement* aux coordonnées cartésiennes.

L'emploi systématique des déterminants, auquel M. Massau et M. d'Ocagne ont eu parfois recours, groupe, de la façon la plus

heureuse, les abaques de même famille qui sont susceptibles de représenter l'équation proposée. C'est grâce à lui que nous avons pu compléter, en un point important, la théorie de l'alignement simple, et établir notre théorie du double alignement, dont la généralisation permet d'étendre, dans une large mesure, les applications de la Nomographie.

Enfin, les coordonnées cartésiennes, dont l'emploi est familier à tous les ingénieurs, résolvent les problèmes tout aussi simplement que les coordonnées parallèles utilisées par M. d'Ocagne pour ses abaques à points alignés, dans le but de faciliter la disjonction des variables. Dans les Chapitres relatifs aux abaques à simple ou à double alignement, on verra qu'on peut opérer aisément la disjonction, sans recourir au dernier système de coordonnées, assez peu usité. M. d'Ocagne avait, du reste, indiqué l'emploi des coordonnées cartésiennes pour les abaques à simple alignement (*Traité de Nomographie*, p. 134).

Ajoutons que, tout en réservant aux développements théoriques la place à laquelle ils ont droit, nous nous sommes abstenu de relater certaines recherches d'un caractère par trop spéculatif, comme les images logarithmiques du professeur Mehmke (1) et l'essai de synthèse générale de M. d'Ocagne ; nous renvoyons à cet égard au *Traité* de ce géomètre, dont nous recommandons vivement la lecture.

Au risque de donner à notre travail un développement dont nous nous excusons, nous avons cru indispensable d'illustrer les diverses méthodes par de nombreux exemples. Nous ne reproduisons pas moins de 80 abaques, dont plus d'une cinquantaine ont été construits spécialement pour ce Mémoire.

II. — Réseaux cotés et courbes cotées.

4. — La Nomographie, avons-nous dit, est la théorie des abaques. Qu'est-ce donc qu'un abaque? Nous allons essayer d'en donner une définition claire.

Considérons une valeur x_k qui varie entre les limites a et b. Nous pouvons imaginer une famille de courbes dont chacune correspond à une valeur déterminée de x_k, et tracer par exemple les courbes à cotes rondes comprises entre a et b. Si nous rap-

(1) *Civilingenieur*, 1889, et *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, 1890.

portons ces courbes à deux axes de coordonnées quelconques, tels que Ox et Oy, l'équation du réseau sera :

$$f(xy\alpha_k) = 0. \qquad (\alpha_k)$$

Au lieu de ce réseau, *dont chaque courbe a une cote*, il est parfois possible de considérer plus simplement une courbe unique :

$$\begin{cases} x = f(\alpha_k) \\ y = \varphi(\alpha_k) \end{cases} \qquad [\alpha_k]$$

dont *chaque point est coté.*

L'équation de cette courbe sous la forme habituelle s'obtiendrait par l'élimination de α_k entre $x = f$ et $y = \varphi$, mais il est plus commode, en général, de la définir par ces deux relations, qui permettent de la coter en la construisant.

Considérons maintenant des variables $\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_k \ldots \alpha_n$, et imaginons que chacune d'elles soit figurée par un réseau coté (α_k) ou par une courbe cotée $[\alpha_k]$. Nous pouvons concevoir que, si l'on donne à $(n-1)$ variables des valeurs arbitraires, — ce qui détermine une courbe ou un point dans les $(n-1)$ systèmes figuratifs correspondants, — on en déduise, par une construction géométrique déterminée, une courbe ou un point du n^e système, et par suite une valeur particulière de la n^e variable qu'il représente. Il existe alors entre les n variables une relation :

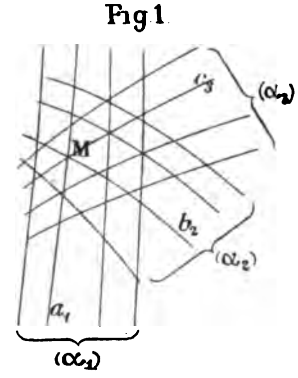
$$F(\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_n) = 0.$$

Inversement, cette équation peut être résolue graphiquement à l'aide des systèmes de réseaux ou de courbes cotés, puisque, quand on se donne $(n-1)$ variables, la n^e s'en déduit par une construction géométrique connue. L'ensemble de ces systèmes figuratifs constitue un *abaque* de l'équation.

Remarque. — Pour abréger le discours, nous désignerons par $F_{12\ldots n} = 0$ une équation à n variables $\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_n$, par (α_k) un réseau de *courbes cotées*, par $[\alpha_j]$ une courbe à *points cotés*.

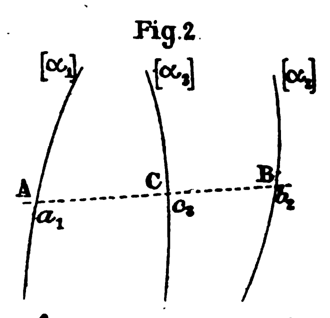
Quant à la construction géométrique par laquelle on obtient la solution, elle est, pour ainsi dire, la *clef* de l'abaque : nous la désignerons souvent sous ce nom.

5. — Précisons ce qui vient d'être dit par des exemples.

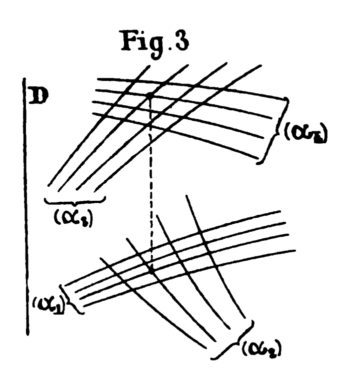


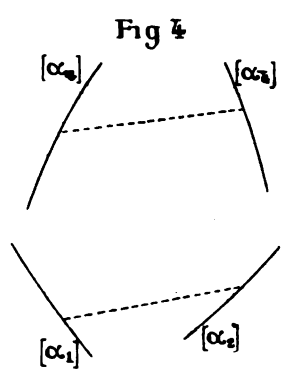
1° Considérons l'équation à 3 variables $F_{123} = o$. Comme nous le verrons, on peut toujours la représenter par 3 réseaux (α_1), (α_2), (α_3), tels qu'une solution de la proposée soit donnée par 3 courbes concourantes; la clef est alors la suivante : α_1 et α_2 étant connus, on prend les courbes ayant ces cotes, et on lit la cote α_3 de la courbe du troisième réseau qui passe par leur intersection (*fig. 1*). Ainsi les courbes a_1 du réseau (α_1) et b_2 du réseau (α_2) se coupent en M, où passe la courbe c_3 du réseau (α_3) : a_1, b_2, c_3 constituent donc une solution de la proposée.

Quand une ou plusieurs des valeurs α_1, α_2, α_3 ne correspondent pas à des courbes réellement tracées, on opère par interpolation à vue.



Si ces réseaux sont formés de droites, l'équation à 3 variables peut aussi être représentée par 3 courbes cotées $[\alpha_1]$, $[\alpha_2]$, $[\alpha_3]$ telles qu'une solution soit donnée par 3 points en ligne droite (*fig. 2*). Ainsi les points a_1 de la courbe $[\alpha_1]$ et b_2 de la courbe $[\alpha_2]$ donnent l'alignement ABC; soit c_3 la cote du point C; a_1, b_2, c_3 constituent une solution de la proposée.



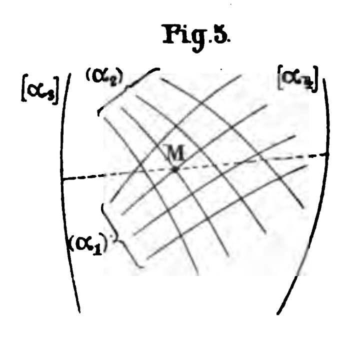


Le type d'équations serait tout différent si la ligne droite était remplacée par un cercle, ou encore par une autre courbe de forme invariable assujettie à une condition simple.

2° Considérons l'équation à 4 variables $F_{1234} = o$. Certains types peuvent être représentés par 4 réseaux (α_1), (α_2), (α_3), (α_4) tels que, $\alpha_1\,\alpha_2\,\alpha_3\,\alpha_4$ étant une solution, la droite qui passe par l'intersection des courbes cotées α_1 et α_2, et par l'intersection des courbes cotées α_3 et α_4, soit parallèlle à une direction donnée D (*fig. 3*).

A ces 4 réseaux on peut, s'ils sont formés de droites, substituer 4 courbes $[\alpha_1]$, $[\alpha_2]$, $[\alpha_3]$, $[\alpha_4]$, telles que les droites $\alpha_1\,\alpha_2$ et $\alpha_3\,\alpha_4$ soient parallèles (*fig. 4*), ou perpendiculaires (*fig. 21*), ou concourent sur une droite fixe (*fig. 22*). Nous avons démontré (**99** et suivants) que ces trois sortes d'abaques correspondent à un même type d'équation.

Enfin, certains types peuvent être représentés par 2 réseaux (α_1), (α_2) et par 2 courbes $[\alpha_3]$, $[\alpha_4]$, tels que le point $\alpha_1\alpha_2$, le point α_3 et le point α_4 soient en ligne droite (*fig. 5*).



Ces quelques exemples suffisent à indiquer l'esprit des méthodes qui président à la recherche des abaques.

III. — Échelles.

6. — Les courbes cotées se tracent à l'aide des deux échelles rectilignes :

$$x = f(\alpha_k),$$
$$y = \varphi(\alpha_k).$$

Nous avons donc à étudier l'échelle rectiligne, dont la forme générale est $u = lf(\alpha)$: l est le *module*; la différence entre deux valeurs consécutives de α est l'*échelon*.

Les échelles rectilignes les plus fréquemment employées sont les suivantes :

1° *L'échelle régulière* $u = l\alpha$, dont le type est la graduation du double décimètre;

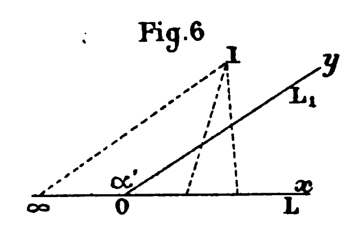
2° *L'échelle logarithmique* $u = l \log \alpha$, qui se présente très fréquemment, et dont un exemple est donné par la graduation de la

règle à calculs. Si l'on prolongeait cette échelle au delà de 10, elle se reproduirait de 10 à 100, de 100 à 1000, etc., les échelons devenant 10, 100 fois plus grands *(fig. 44)*; nous donnons une application de cette propriété au n° 58.

3° *L'échelle isograde*, dont la graduation est régulière; par suite, les échelons sont irréguliers, sauf pour la fonction $l\alpha$. Les réseaux de parallèles correspondants sont formés de droites équidistantes; on en verra un exemple dans le quadrillage de l'abaque X.

4° *L'échelle linéaire générale* $u = \dfrac{m\alpha + n}{p\alpha + q}$, avec $mq \neq np$. Sa graduation peut s'établir rapidement en raison de la propriété suivante : ***toute échelle linéaire dérive d'une échelle régulière quelconque par une transformation homographique.***

En effet, soit L le support de l'échelle linéaire *(fig. 6)*. Par un point quelconque O de L, menons une droite quelconque L_1 et portons sur L_1 une échelle régulière quelconque dont le point O ait la cote α' de la première échelle. Les graduations, comptées à partir de O, sont donc définies par des équations de la forme :



échelle linéaire : $u = \dfrac{l(\alpha - \alpha')}{P\alpha + Q}$,

échelle régulière : $u_1 = l_1(\alpha - \alpha')$.

Dans le système de coordonnées OL, OL_1, les droites qui joignent deux points de même cote α ont pour équation :

$$\frac{P\alpha + Q}{l(\alpha - \alpha')}x + \frac{1}{l_1(\alpha - \alpha')}y = 1.$$

Cette équation étant linéaire en α, toutes les droites considérées concourent au point d'intersection I des droites :

$$\frac{Px}{l} = 1, \qquad \frac{Qx}{l} + \frac{y}{l_1} + \alpha' = 0.$$

Ainsi l'échelle L peut se déduire d'une échelle régulière L_1 par simple projection à partir d'un point I.

Si l'on prend le point coté ∞ de l'échelle OL, et qu'on mène par ce point la parallèle à OL_1, ce qui revient à joindre les points

cotés ∞ des deux échelles, on a un lieu de I. C'est précisément la droite $\frac{Px}{l} = 1$.

Nous donnerons des applications de cette construction, due à M. d'Ocagne.

IV. — Familles d'abaques ; choix d'un abaque dans une famille donnée.

7. — Une équation peut, en général, être représentée par une infinité d'abaques. Ainsi l'équation $F_{123} = o$ est représentable, comme nous le verrons, par des abaques à 3 réseaux concourants, dont 2 sont arbitraires.

Ces abaques d'une même équation sont plus ou moins profondément distincts. Leurs véritables caractéristiques étant les équations (α_k) ou $[\alpha_k]$ des systèmes figuratifs, ainsi que la clef, nous dirons que les abaques qui ont même clef et dont les systèmes figuratifs correspondants ont des équations de même degré constituent une *famille*. Ainsi, dans l'équation considérée $F_{123} = o$, prenons pour les 2 réseaux arbitraires les parallèles aux axes :

$$x = l_1\alpha_1,$$

$$y = l_2\alpha_2.$$

Le 3e réseau : $$F\left(\frac{x}{l_1}, \frac{y}{l_2}, \alpha_3\right) = o,$$

est formé de courbes dont le degré est le même, quelles que soient les valeurs prises pour l_1 et pour l_2 : on a donc pour représenter la proposée toute une famille d'abaques qui ne sont autres que les abaques du genre cartésien.

Le nombre des familles d'abaques susceptibles de représenter une équation se limite en raison même du but qu'on se propose, qui est de fournir un moyen rapide, simple et suffisamment précis pour résoudre cette équation. Il convient donc de ne retenir que les familles les plus simples, soit comme clef, soit comme systèmes figuratifs. Ainsi, il y aura lieu, en général, de préférer les courbes cotées aux réseaux cotés, qui s'enchevêtrent, fatiguent la vue et la patience, prêtent à des erreurs. Il convient aussi que les courbes des réseaux soient à branches uniques, sans points singuliers ; autrement la lecture en serait inextri-

cable. Il en est, du reste, presque toujours ainsi des formules qui synthétisent les phénomènes physiques ou mécaniques : *natura non fecit saltus.*

Le choix de la famille étant fait, il s'agira de choisir ensuite, dans cette famille, l'abaque le plus propre à donner une bonne représentation de la proposée, comme disposition générale de l'épure, et principalement comme précision, dans le champ des variations usuelles de $\alpha_1 \alpha_2 \ldots \alpha_n$.

Toutes choses égales d'ailleurs, la précision des solutions données par les abaques dépend de leurs dimensions. Elle dépend aussi de la grandeur de chacun des systèmes figuratifs des diverses variables, et il convient de chercher à ce que les uns n'aient pas des dimensions exagérées, tandis que les autres auraient des dimensions exiguës : on y parvient en introduisant des paramètres arbitraires dans les équations de ces systèmes, paramètres qu'on détermine de façon à obtenir des dimensions convenables, eu égard au champ des variations; l'emploi des déterminants, auquel nous avons donné une grande extension, est à ce point de vue extrêmement commode. Enfin, la précision dépend aussi de la clef : ainsi, dans un abaque à alignement composé de 3 courbes $[\alpha_1]$, $[\alpha_2]$, $[\alpha_3]$, il faut que la droite qui donne les solutions coupe toujours les 3 courbes sous un angle peu aigu. De plus, α_3 étant l'inconnue habituelle, la précision serait médiocre si $[\alpha_3]$ était extérieure aux courbes $[\alpha_1]$ et $[\alpha_2]$; elle est bien supérieure si cette courbe se trouve à l'intérieur, puisque la base d'alignement est alors plus grande : c'est ce qui a été fait, par exemple, pour l'abaque XI, où l'inconnue est généralement la portée lumineuse, pour l'abaque XIV, où l'inconnue est généralement la vitesse du projectile, pour l'abaque XXV, où l'inconnue est le volume du ballast, etc...

8. — Ce qui précède montre clairement le double but à poursuivre en Nomographie : 1° pour une forme générale d'équation, chercher les familles d'abaques conduisant à des systèmes figuratifs et à une clef aussi simples que possible; 2° pour chaque cas concret, déterminer, dans l'une de ces familles, un abaque qui donne une bonne disposition et une précision suffisante eu égard au champ dans lequel évoluent les variables.

Il est impossible de formuler des règles déterminées en vue de la bonne disposition des abaques, qui dépend de l'habileté mathématique du constructeur. Toutefois, nous devons signaler ici deux

méthodes importantes qui ont pour but de donner une plus grande précision aux abaques à construire sur une feuille de dimensions déterminées, en permettant d'augmenter les modules des échelles sans restreindre le champ de variations. Ces méthodes consistent dans l'emploi de multiplicateurs correspondants et dans le fractionnement de courbes cotées.

9. — ***Multiplicateurs correspondants.*** — Soit une équation $F_{12\ldots n} = o$ telle que à toute solution $(\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n)$ corresponde une solution $(\lambda_1\alpha_1, \lambda_2\alpha_2\ldots\lambda_n\alpha_n)$. Tout réseau $f_k(xy\alpha_k) = o$ donne naissance à un réseau $f_k(x, y, \lambda_k\alpha_k) = o$, qu'on peut superposer au premier, mais en lui donnant des cotes différentes ; toute courbe $x = f_i(\alpha_i)$, $y = \varphi_i(\alpha_i)$ donne naissance à une courbe identique $x = f_i(\lambda_i\alpha_i)$, $y = \varphi_i(\lambda_i\alpha_i)$, mais différemment cotée. La superposition des systèmes figuratifs donne lieu à une double graduation, mais elle permet évidemment d'augmenter les modules des échelles qui servent à les construire.

M. d'Ocagne a donné à $\lambda_1\lambda_2\ldots\lambda_n$ le nom de multiplicateurs correspondants. Si ces multiplicateurs ont des valeurs simples, on passera, par un calcul de tête, de la solution $(\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n)$ à la solution $(\lambda_1\alpha_1, \lambda_2\alpha_2\ldots\lambda_n\alpha_n)$; on peut donc se dispenser d'inscrire la seconde graduation. En général, il est loisible de choisir des valeurs simples pour $(n - 1)$ multiplicateurs, mais le n^e, qui dépend des $(n - 1)$ autres, peut avoir une valeur compliquée, ce qui oblige à inscrire effectivement la double graduation sur le système figuratif correspondant.

Ainsi, les portées lumineuses (**39**) sont données par la formule :

$$100La^d = d^2,$$

qu'on peut écrire :

$$100(\lambda^2L)\left(a^{\frac{1}{\lambda}}\right)^{(\lambda d)} = (\lambda d)^2.$$

On voit qu'à toute solution (L, a, d) correspond une solution $(\lambda^2L, a^{\frac{1}{\lambda}}, \lambda d)$. Avec $\lambda = \frac{1}{10}$, le passage de L et d à $\frac{L}{100}$ et $\frac{d}{10}$ se fait de tête, mais il n'en est pas de même du passage de a à a^{10} ; il convient donc de coter doublement soit le réseau (a) comme cela a été fait sur l'abaque X, soit la courbe [a], comme cela a été fait sur l'abaque XI.

Les abaques XXXII et XLIII, entre autres, fournissent encore des exemples de cette méthode ; le n^e réseau (T) n'a reçu qu'une graduation, la seconde s'en déduisant par un multiplicateur simple.

10. — *Fractionnement des courbes cotées.* — Il peut être avantageux de fractionner une ou plusieurs échelles, ce qui revient à remplacer un abaque unique par plusieurs abaques partiels, qu'on peut alors dessiner sur la même feuille en leur donnant de plus grandes dimensions.

Ainsi, considérons un abaque à points alignés d'une équation $f_{123} = 0$, dans laquelle les variables usuelles sont α_1 et α_2, et supposons $[\alpha_1]$ fractionnée en n_1 tronçons, $[\alpha_2]$ fractionnée en n_2 tronçons. Théoriquement, il faudrait associer chacun des premiers à chacun des seconds, d'où $n_1 n_2$ abaques partiels. Mais, en pratique, les valeurs usuelles de α_2 ne varient qu'entre certaines limites quand les valeurs de α_1 sont comprises entre certaines valeurs, de telle sorte que le nombre des abaques partiels est notablement réduit. C'est ainsi que, si α_2 varie de a_2 à c_2 quand α_1 varie de a_1 à c_1, et si α_2 varie de c_2 à b_2 quand α_1 varie de c_1 à b_1, on peut fractionner chacune des échelles aux points c_1 et c_2, et ne prendre que deux abaques partiels.

En outre, principalement dans les abaques à échelles rectilignes, tels que les abaques hexagonaux, il arrive que les supports des tronçons sont superposables, ce qui simplifie les tracés : on a alors une double graduation sur ces supports.

Nous donnons au numéro **58** un exemple de fractionnement pour un abaque hexagonal.

Cet artifice du fractionnement des courbes cotées est dû à M. Ch. Lallemand, qui l'a souvent employé.

Nous exposerons plus loin (**93**) un artifice analogue, dû à M. Chancel, pour le fractionnement des échelles binaires.

ÉQUATIONS A DEUX VARIABLES

A. — ABAQUES A DEUX AXES DE COORDONNÉES

I. — Abaques cartésiens et leurs dérivés.

11. — Soit une équation à 2 variables $F_{12} = o$. Rapportons-la à deux axes Ox, Oy en prenant $x = l\alpha_1$, $y = l\alpha_2$: nous obtenons la courbe représentative suivant la méthode cartésienne.

Si nous prenons $x = l_1\alpha_1$, $y = l_2\alpha_2$, nous avons une courbe différente, mais de même degré.

12. — Exemple (1) : *Jaugeage des cours d'eau (Abaque I).* — Le service de la navigation a besoin d'évaluer fréquemment le débit approximatif des grands cours d'eau; cette évaluation se fait à l'aide d'une formule empirique qui lie le débit Q à la hauteur d'eau H en un point déterminé : tel est le but des échelles qu'on peut voir, par exemple, sur certaines arches de ponts.

Cette relation empirique est généralement de la forme :

$$Q = a(H + b)^{\frac{3}{2}},$$

a et b étant des coefficients qui dépendent du point où se trouve l'échelle.

Ainsi, le débit de la Seine au pont de Mantes est, d'après M. Cuvinot :

$$Q = 95(H + 0{,}70)^{\frac{3}{2}}.$$

Celui de la Loire au pont de Roanne est, d'après M. Graëff :

$$Q = 180(H + 0{,}25)^{\frac{3}{2}}.$$

Q est le débit en mètres par seconde, H la hauteur d'eau en mètres.

L'abaque I, composé des échelles Q,H et de la courbe AMB, correspond au cas de la Seine à Mantes.

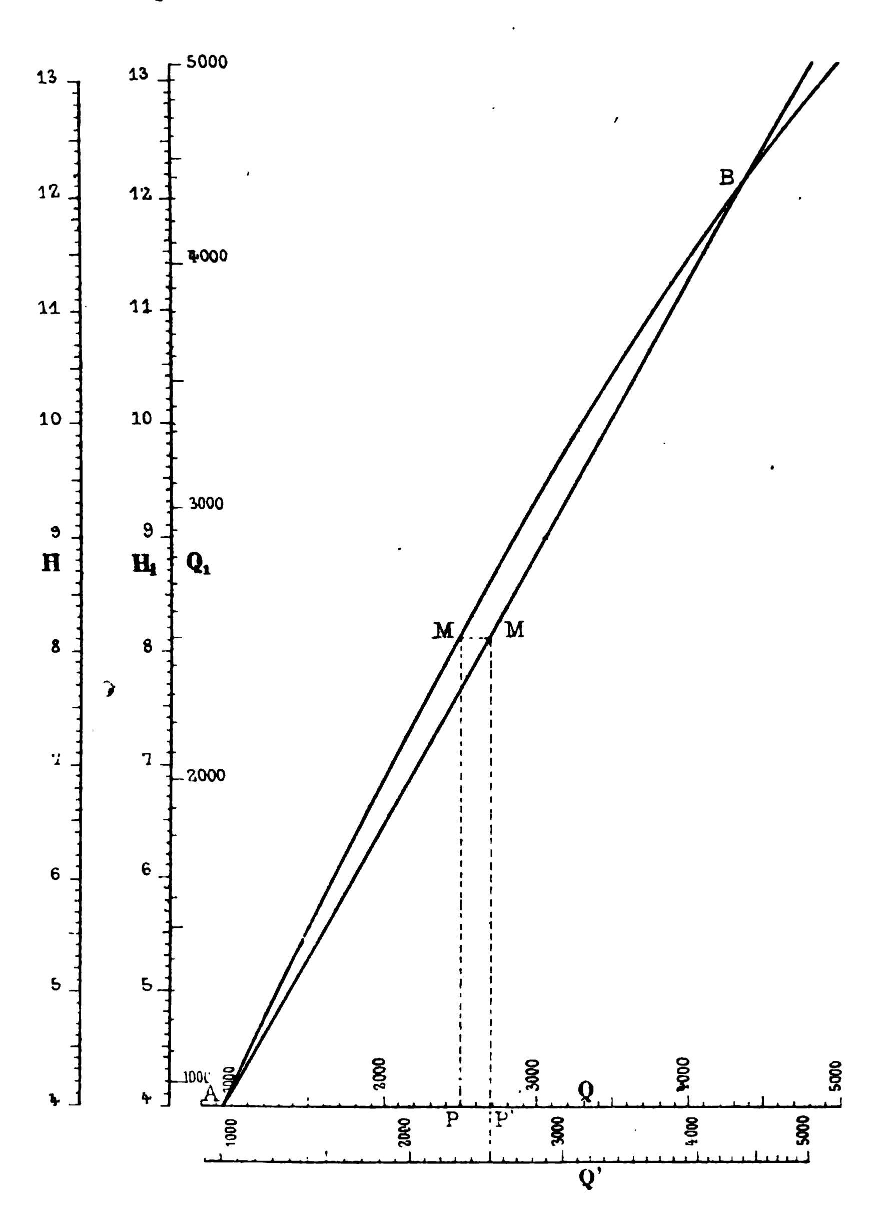
(1) La plupart des abaques qui figurent dans ce Mémoire ont été réduits en raison des exigences de la composition. En pratique, ils devraient être établis à une plus grande échelle, suivant le degré de précision qu'on veut obtenir. Il convient de les dessiner sur une feuille préalablement mouillée et tendue, afin de se prémunir contre les variations du papier.

JAUGEAGE DES COURS D'EAU

(Débit de la Seine au pont de Mantes)

Formule de M. Cuvinot : $Q = 95\,(H + 0{,}70)^{\frac{3}{2}}$

- **Q** Débit, en mètres cubes par seconde
- **H** Hauteur d'eau, en mètres



ABAQUE I *R. Soreau*

II. — Anamorphose.

13. — La courbe représentative AMB de $F_{12} = o$ peut toujours être transformée en une ligne droite quelconque AB : ainsi, pour l'exemple précédent, il suffit de projeter cette courbe sur AB parallèlement à Q, et de donner à P′ la cote du point P.

Mais, alors que l'échelle AP est régulière et qu'on peut se dispenser, à la rigueur, de la coter, il est nécessaire de coter l'échelle AP′, par exemple pour les valeurs à cotes rondes de Q. C'est ce qui a été fait en Q′.

14. — La substitution d'une droite AB (ou d'un faisceau de droites) à une courbe AMB (ou à une famille de courbes) constitue l'*anamorphose;* l'idée en est due à Lalanne.

Nous venons de voir comment on peut opérer géométriquement l'anamorphose de la courbe représentative de l'équation $F_{12} = o$. L'anamorphose analytique s'obtiendra en prenant, au lieu des échelles régulières $x = l_1\alpha_1$, $y = l_2\alpha_2$, des échelles $x = l_1 f_1$, $y = l_2 f_2$, dont une au moins irrégulière, et telles que l'élimination de α_1 et α_2 entre ces équations et la proposée donne une équation linéaire en x et y.

15. — Exemple : Ainsi, la formule du débit d'un cours d'eau :

$$Q = a(H + b)^{\frac{3}{2}},$$

peut se représenter en prenant comme échelles :

$$x = l_1 Q, \qquad [Q]$$

$$y = l_2(H + b)^{\frac{3}{2}}, \qquad [H]$$

dont une seule est régulière. On trouve la droite :

$$\frac{x}{l_1} = \frac{ay}{l_2}.$$

Elle peut aussi se représenter avec les échelles :

$$x = l_1 Q^2, \qquad [Q]$$

$$y = l_2(H + b)^3, \qquad [H]$$

toutes deux irrégulières. On trouve la droite :

$$\frac{x}{l_1} = \frac{a^2 y}{l_2}.$$

B. — ABAQUES A ÉCHELLES ACCOLÉES

16. — La solution rapide de l'équation $F_{12} = o$ s'obtient souvent à l'aide d'un tableau composé de deux colonnes α_1 et α_2, tel que les deux valeurs α_1 et α_2 d'une même ligne constituent une solution de la proposée. Pour les valeurs qui ne figurent pas au tableau, on procède par interpolation.

Imaginons que les deux colonnes soient séparées par une droite, et, sur cette droite, établissons du côté de la colonne α_1 une graduation à cotes rondes, avec divisions intermédiaires, telle qu'à un nombre du tableau corresponde le point de la graduation placé en face de lui. Faisons de même pour la colonne α_2. Nous substituons ainsi au tableau une droite ayant d'un côté une graduation $[\alpha_1]$, et de l'autre une graduation $[\alpha_2]$, ces graduations étant telles qu'une solution $(\alpha_1\alpha_2)$ est donnée par un même point de la droite : nous avons un abaque à échelles accolées. L'avantage de cet abaque est de remplacer l'interpolation arithmétique par une interpolation graphique, qui se fait par simple lecture.

Les échelons, arbitraires et indépendants dans le tableau, le sont également dans l'abaque. On les choisira, par exemple, de façon à obtenir une échelle régulière pour l'une des variables α_1 ; mais, si la graduation de l'échelle α_2 est trop resserrée dans certaines régions et trop dilatée dans d'autres, rien n'empêche de dilater ou de resserrer les régions correspondantes de la graduation α_1, de façon à obtenir partout une précision à peu près constante.

17. — Si l'équation est de la forme $f_1 = f_2$, il suffit de construire les deux échelles $x = lf_1$, $x = lf_2$. M. Prévot a donné (**92**) une généralisation fort importante de ce cas si simple.

18. — Exemples : 1° *Jaugeage des cours d'eau (Abaque I).* — C'est ainsi que l'on pourrait, sur les échelles placées aux arches des ponts, écrire en face des valeurs de H les valeurs correspondantes du débit ; cette disposition serait logique pour les cours d'eau dont le lit ne se modifie pas d'une façon appréciable. On aurait ainsi une double graduation comme celle qui est figurée en H_1Q_1 sur l'abaque I.

2° *Épaisseur des voûtes à la clef dans les ponts en pierre. (Abaque LI).* — Les échelles accolées [e] et [D] de cet abaque représentent la formule de Lesguiller :

$$e = 0{,}2\sqrt{D} + 0{,}1$$

qui donne, en mètres, l'épaisseur à la clef en fonction de l'ouverture D de la voûte, exprimée en mètres.

3° *Altitude en fonction de la pression barométrique (Abaque LII).* — De la formule bien connue de Laplace on a déduit la formule approchée :

$$N = 18\,400 \log \frac{H}{h},$$

qui donne, en mètres, la différence d'altitudes entre deux stations où la pression barométrique est H et h.

Supposons H = 760 *mm*, h étant exprimé en *mm* de mercure. Les échelles accolées [N] et [h'] de l'abaque LII donnent la représentation de la loi dans ce cas particulier.

19. — Pour qu'on puisse disposer deux graduations (α_1) et (α_2) sur un même support, il n'est nullement nécessaire que ce support soit une droite : par exemple, dans un abaque où existe une échelle curviligne [α_1], si α_1 est fonction de α_k, on peut évidemment coter la courbe de part et d'autre avec les valeurs α_1 et α_k. Tel est le cas de l'abaque XLIX, où les droites et les courbes cotées ont reçu une double graduation pour les angles, l'une en degrés, l'autre en tangentes trigonométriques.

ÉQUATIONS A TROIS VARIABLES

A. — ABAQUES A ENTRECROISEMENT

I. — Abaques à deux réseaux arbitraires.

20. — Considérons deux axes Ox, Oy, d'ailleurs quelconques, et soient 3 équations :

$$f_1(xy\alpha_1) = 0, \qquad (\alpha_1)$$

$$f_2(xy\alpha_2) = 0, \qquad (\alpha_2)$$

$$f_3(xy\alpha_3) = 0, \qquad (\alpha_3)$$

telles que l'élimination de x et de y entre elles reproduise l'équation proposée :

$$F(\alpha_1\alpha_2\alpha_3) = 0. \qquad (E)$$

Réciproquement, toute solution $(a_1\, b_2\, c_3)$ de (E) correspond à 3 courbes particulières a_1, b_2, c_3 des réseaux $(\alpha_1)\,(\alpha_2)\,(\alpha_3)$, et ces courbes passent par un même point M, point figuratif de ladite solution (*fig. 1*). On a donc un abaque à 3 réseaux avec la clef la plus simple qui soit.

Remarque. — Théoriquement, 2 des réseaux, (α_1) et (α_2) par exemple, *peuvent être arbitrairement choisis* ; le 3e résulte alors de l'élimination de α_1 et α_2 entre la proposée et les équations de ces 2 réseaux.

Cette remarque est essentielle. En pratique, il convient, comme nous l'avons dit, de choisir (α_1) et (α_2) de façon à obtenir pour (α_3) des courbes continues, à branche unique, sans points singuliers dans le champ des variations usuelles de α_3.

21. — Ce qui précède s'applique à un système quelconque de coordonnées, et en particulier aux coordonnées polaires. Ainsi les 3 réseaux :

$$f_1(\rho\,\omega\,\alpha_1) = 0, \qquad (\alpha_1)$$

$$f_2(\rho\,\omega\,\alpha_2) = 0, \qquad (\alpha_2)$$

$$f_3(\rho\,\omega\,\alpha_3) = 0, \qquad (\alpha_3)$$

tels que l'élimination de ρ et ω donne :

$$F(\alpha_1\,\alpha_2\,\alpha_3) = 0, \qquad (E)$$

onstituent un abaque de la proposée.

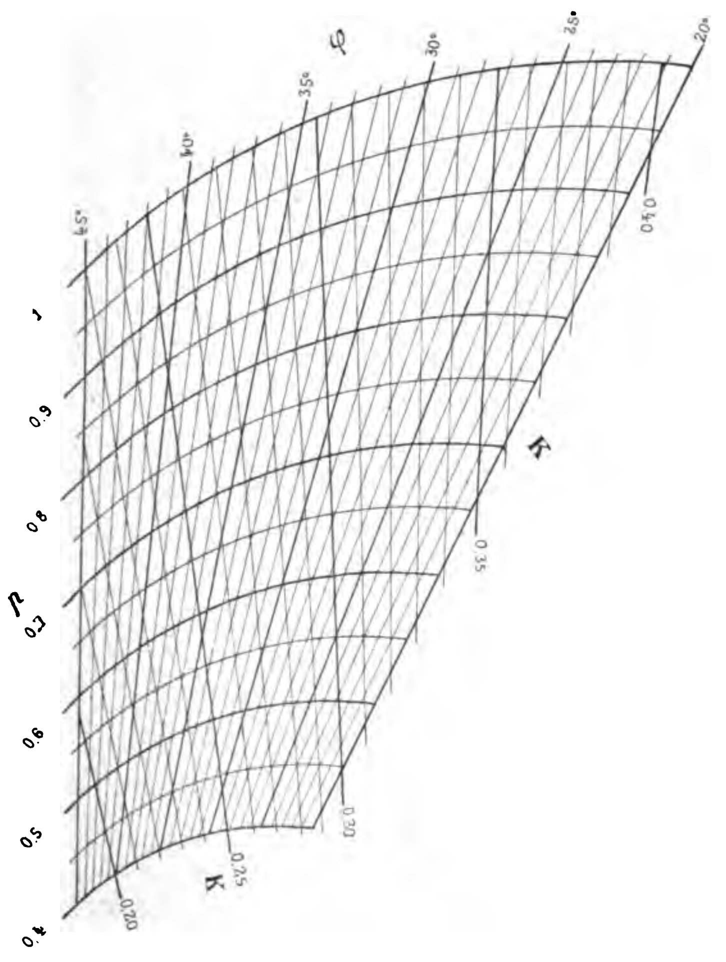
MURS DE SOUTÈNEMENT

pour terres profilées suivant leur talus naturel

Formule :

$$K^2 + K\rho \sin\varphi \cos\varphi - \frac{\rho}{3} \cos^2\varphi = 0$$

- **K** Rapport de la base à la hauteur du mur, à section rectangulaire
- ρ Rapport des poids spécifiques de la terre et de la maçonnerie
- φ Angle naturel des terres.



ABAQUE II

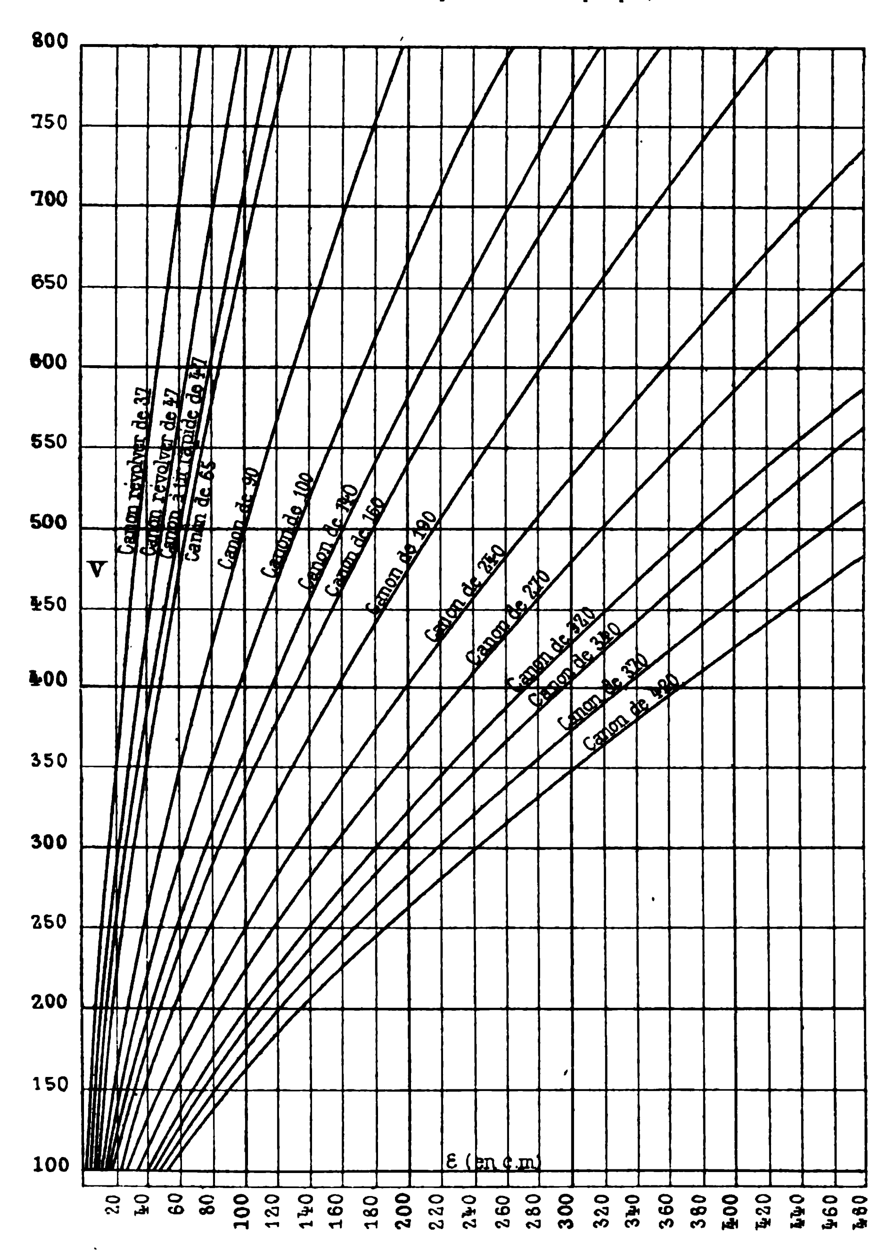
M. d'Ocagne

VITESSE DE PERFORATION DES PLAQUES DE BLINDAGE

Formule Jacob de Marre

$$V = 1530 \frac{a^{0.75}}{P^{0.5}} \varepsilon^{0.7}$$

- V Vitesse du projectile, en mètres
- P Poids du projectile, en kilogr.
- a Diamètre du projectile, en décimètres
- ε Épaisseur de la plaque, en décimètres



ABAQUE III

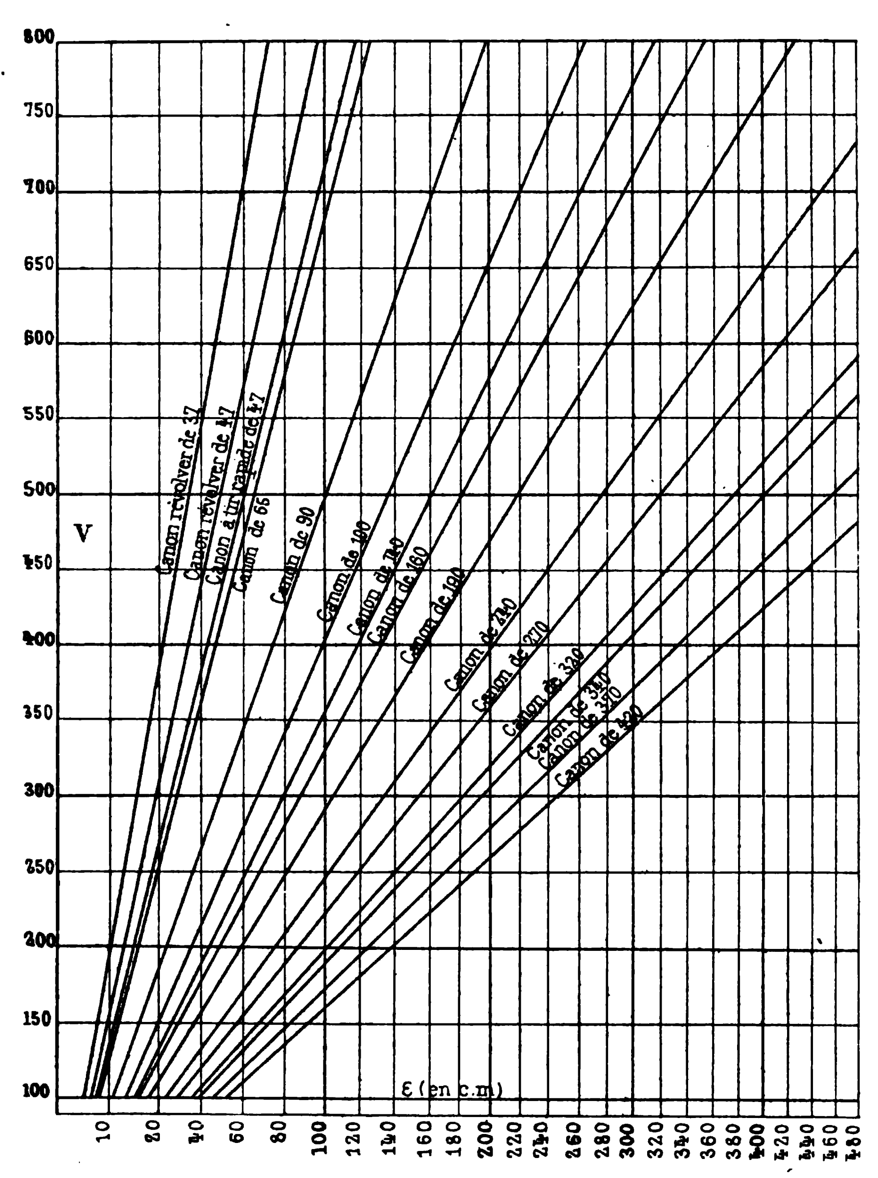
Colonel Jacob de Marre

VITESSE DE PERFORATION DES PLAQUES DE BLINDAGE

Formule Jacob de Marre

$$V = 1530 \frac{a^{0.75}}{P^{0.5}} \varepsilon^{0.7}$$

- V Vitesse du projectile, en mètres
- P Poids du projectile, en kilogr.
- a Diamètre du projectile, en décimètres
- ε Épaisseur de la plaque, en décimètres



ABAQUE IV — *R. Soreau*

L'emploi des coordonnées polaires peut être particulièrement avantageux pour les équations qui contiennent des fonctions trigonométriques.

22. — Exemple : ***Murs de soutènement pour des terres profilées suivant leur talus naturel (Abaque II).*** — La formule relative à ce problème est donnée sur la légende de l'abaque, avec la signification des variables (1). Si l'on prend $\omega = \varphi$, $\rho = p \cos \varphi$, on obtient les 3 réseaux :

$$\omega = \varphi, \qquad (\varphi)$$

$$\rho = p \cos \omega, \qquad (p)$$

$$K^2 + K\rho \sin \omega - \frac{\rho \cos \omega}{3} = o. \qquad (K)$$

(φ) est un faisceau de droites radiantes partant de l'origine; (p) est un réseau de cercles de rayon $\frac{p}{2}$ qui passent par l'origine et ont leurs centres sur la droite $\omega = o$; (K) est un réseau de droites très faciles à tracer : en effet, elles coupent la droite $\omega = \frac{\pi}{2}$ en des points $\rho = - K$, et la droite $\omega = o$ en des points $\rho = 3K^2$.

II. — Abaques cartésiens et leurs dérivés.

23. — Puisque 2 des réseaux sont arbitraires, prenons en particulier :

$$x = l_1 \alpha_1, \qquad (\alpha_1)$$

$$y = l_2 \alpha_2. \qquad (\alpha_2)$$

On obtient :

$$F\left(\frac{x}{l_1} \frac{y}{l_2} \alpha_3\right) = o, \qquad (\alpha_3)$$

et l'on a un abaque cartésien analogue aux surfaces topographiques. Les 2 premiers réseaux sont formés de parallèles aux axes de coordonnées, qu'en général on se dispense de tracer; il n'est même pas nécessaire de coter l'axe des x et l'axe des y: il suffit d'indiquer les valeurs des modules l_1 et l_2.

24. — Exemple : *Vitesse de perforation des plaques de blindage (Abaque III).* — Une des formules les plus usitées, dans le cas des

(1) Collignon, ***Résistance des matériaux.***

plaques en acier non harveyées et obus non coiffés, est celle du colonel Jacob de Marre (1), admise dans les cahiers des charges de la Marine française, ainsi qu'en Russie et en Amérique. Cette formule est donnée sur la légende de l'abaque avec la signification des variables et le système d'unités correspondant.

Pour un canon tirant un projectile connu, la fonction $\alpha = \frac{a^{0,75}}{p^{0,5}}$ a une valeur bien déterminée : donc α est une caractéristique du canon, et l'on peut considérer la proposée comme une équation à 3 variables V, ε et α. En prenant :

$$x = l_1 \varepsilon, \qquad (\varepsilon)$$

$$y = l_2 \mathrm{V}, \qquad (\mathrm{V})$$

on obtient :

$$\frac{y}{l_2} = 1\,530\, \alpha \left(\frac{x}{l_1}\right)^{0,7} \qquad (\alpha)$$

25. — *Anamorphose du réseau curviligne.* — Au lieu de porter sur Ox et Oy des échelles régulières, il peut y avoir intérêt à prendre des échelles irrégulières en vue d'arriver à un réseau (α_3) formé de courbes faciles à tracer, et en particulier de droites : dans ce dernier cas, on opère l'*anamorphose totale* du réseau.

26. — Exemple : *Vitesse de perforation des plaques de blindage (Abaque IV).* — Nous avons réalisé l'anamorphose du réseau curviligne en prenant :

$$x = l_1 \varepsilon^{0,7}, \qquad (\varepsilon)$$

$$y = l_2 \mathrm{V}, \qquad (\mathrm{V})$$

$$\frac{y}{l_2} = 1\,530\, \alpha \frac{x}{l_1}. \qquad (\alpha)$$

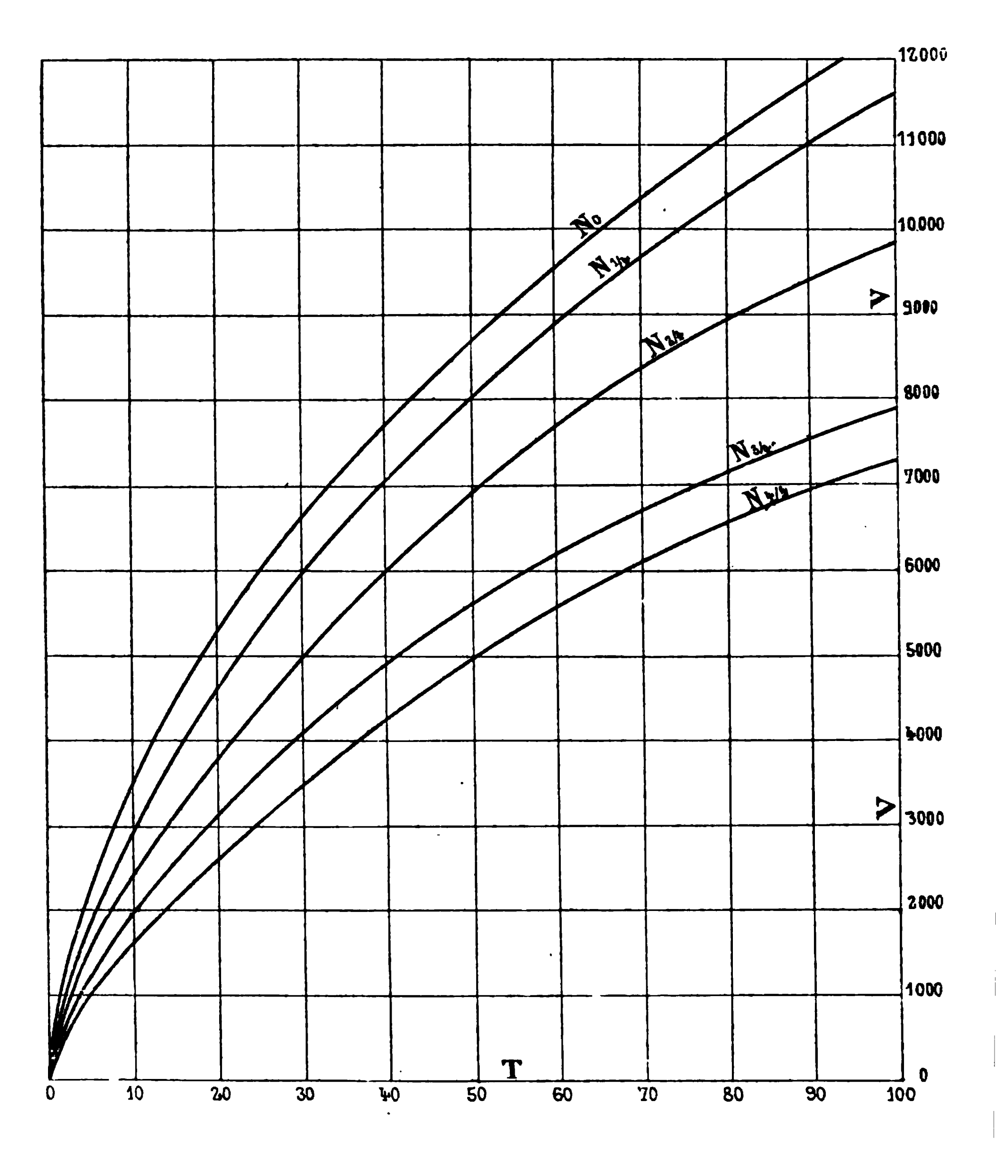
27. — Dans l'exemple qui précède, nous connaissions la formule qui synthétise le phénomène à représenter, ce qui nous a permis d'opérer analytiquement l'anamorphose totale.

Mais, parfois, on ignore cette formule, et néanmoins on peut construire un abaque à l'aide de données expérimentales. Pour voir si le réseau curviligne est susceptible d'anamorphose, on anamorphosera géométriquement une quelconque des courbes qui le composent, puis on construira les autres courbes dans le

(1) *Mémorial de l'Artillerie de Marine*, 1886.

TIRAGE DANS LES LOCOMOTIVES

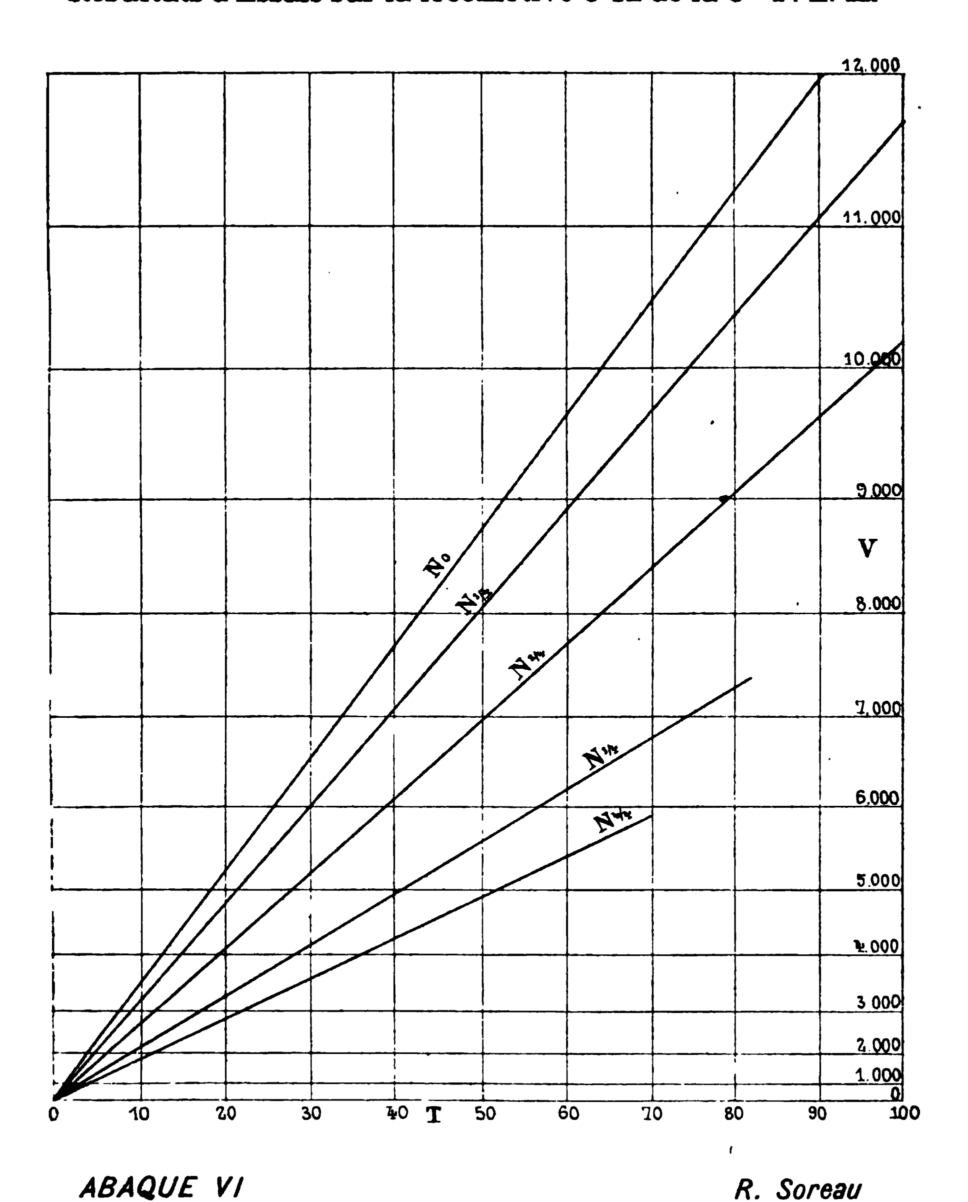
Résultats d'Essais sur la locomotive C-12 de la Cie P. L. M.



ABAQUE V

TIRAGE DANS LES LOCOMOTIVES

Résultats d'Essais sur la locomotive C-12 de la Cie P. L. M.



ABAQUE VI — *R. Soreau*

nouveau système de coordonnées x' et y' qui résulte de cette anamorphose géométrique : si tout le réseau se transforme en un réseau de droites, c'est que l'anamorphose partielle qu'on a imaginée entraîne l'anamorphose totale.

Une telle transformation n'aurait que l'avantage de simplifier le tracé de l'abaque, si elle avait seulement pour effet de substituer des droites à des courbes. Mais elle peut servir aussi, — et c'est par là qu'elle est vraiment utile, — à faciliter la recherche de la loi analytique qu'on ignore, au cas où l'on voudrait la déterminer. Nous reviendrons sur ce point, notamment dans le dernier Chapitre.

C'est pourquoi il peut y avoir intérêt, même si l'anamophose totale n'est pas rigoureusement possible, à anamorphoser la courbe médiane de la partie utile du réseau curviligne, et à substituer des droites aux autres courbes anamorphosées, quand ces courbes s'en écartent peu. On arrivera ainsi à déterminer une forme approchée de la loi.

28. — Exemple : *Tirage dans les locomotives (Abaques V et VI).* — En 1891, la Compagnie P.-L.-M., prévoyant la construction de locomotives à grande vitesse, construisit trois types, C. 11, C. 12 et C. 3 (1), sur lesquels elle fit de nombreux essais de diverses natures.

Parmi ces essais, qui ont duré d'août 1893 à janvier 1894, nous avons en vue ceux qui donnèrent, pour la locomotive C. 12, les tirages T produits par l'échappement, plus ou moins ouvert, de quantités de vapeur variables V passées dans les cylindres d'admission. L'abaque V est emprunté à une Note de M. Chabal, Ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction (2); les poids de vapeur sont indiqués en kilogrammes par heure, et les tirages en millimètres; la courbe N_0 correspond à l'échappement ouvert en grand, la courbe $N_{1/4}$ à l'échappement serré de 1/4..., la courbe $N_{4/4}$ à l'échappement serré à bloc. Entre 50 et 95 *km*, ces courbes ne se modifient presque pas.

Nous avons anamorphosé la courbe médiane $N_{2/4}$ en conservant à T la graduation primitive, de façon à obtenir immédiatement T en fonction de V. Cette anamorphose a entraîné, très sensiblement, l'anamorphose totale. Nous en avons déduit facilement une loi approchée (41).

(1) *Revue générale des Chemins de fer*, 1893.
(2) *Congrès international de Mécanique appliquée, Exposition de 1900* (tome 1).

III. — Abaques composés de cercles et de droites.

29. — Ainsi, dans certains cas, la construction de l'abaque est ramenée à un tracé de droites. Plus généralement, cherchons quelles sont les équations à 3 variables qu'on peut représenter par des abaques où l'on se sert seulement de la règle et du compas, c'est-à-dire par des abaques formés de cercles et de droites.

Les 3 réseaux, rapportés à des axes rectangulaires Ox, Oy, sont de la forme :

$$a_n(x^2 + y^2) + xf_n + y\varphi_n + \psi_n = 0, \qquad (\alpha_n)$$

a_1, a_2, a_3 étant des constantes, qui sont nulles si le réseau correspondant est formé de droites, et qu'on peut supposer égales à 1 s'il est formé de cercles.

En éliminant x et y entre les 3 équations (α_n), M. d'Ocagne a obtenu pour les équations cherchées la forme générale que voici :

$$\begin{vmatrix} a_1 & \varphi_1 & \psi_1 \\ a_2 & \varphi_2 & \psi_2 \\ a_3 & \varphi_3 & \psi_3 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} f_1 & a_1 & \psi_1 \\ f_2 & a_2 & \psi_2 \\ f_3 & a_3 & \psi_3 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & a_1 \\ f_2 & \varphi_2 & a_2 \\ f_3 & \varphi_3 & a_3 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & \psi_2 \\ f_3 & \varphi_3 & \psi_3 \end{vmatrix} = 0. \qquad (E)$$

Il pose :

$$D = \begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & \psi_2 \\ f_3 & \varphi_3 & \psi_3 \end{vmatrix},$$

et désigne par D_f, D_φ, D_ψ les déterminants qui résultent de la substitution des a aux f, φ ou ψ dans D. L'équation (E) peut alors s'écrire abréviativement :

$$D_f^2 + D_\varphi^2 + D_\psi D = 0. \qquad (E)'$$

Dans le cas où 2 réseaux sont rectilignes, par exemple (α_1) et (α_2), cette équation devient :

$$\begin{vmatrix} \varphi_1 & \psi_1 \\ \varphi_2 & \psi_2 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} f_1 & \psi_1 \\ f_2 & \psi_2 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 \\ f_2 & \varphi_2 \end{vmatrix} D = 0.$$

Si les 3 réseaux sont rectilignes, elle se réduit à :

$$D = 0,$$

équation sur laquelle nous aurons à revenir longuement dans la suite :

30. — Soit un déterminant :

$$\delta = \begin{vmatrix} \lambda & \mu & \nu \\ \lambda' & \mu' & \nu' \\ \lambda'' & \mu'' & \nu'' \end{vmatrix} \neq o,$$

à 9 paramètres variables, assujettis à la seule condition $\delta \neq o$. La règle bien connue de la multiplication des déterminants donne :

$$D\delta = \begin{vmatrix} \lambda f_1 + \mu\varphi_1 + \nu\psi_1 & \lambda' f_1 + \mu'\varphi_1 + \nu'\psi_1 & \lambda'' f_1 + \mu''\varphi_1 + \nu''\psi_1 \\ \lambda f_2 + \mu\varphi_2 + \nu\psi_2 & \lambda' f_2 + \mu'\varphi_2 + \nu'\psi_2 & \lambda'' f_2 + \mu''\varphi_2 + \nu''\psi_2 \\ \lambda f_3 + \mu\varphi_3 + \nu\psi_3 & \lambda' f_3 + \mu'\varphi_3 + \nu'\psi_3 & \lambda'' f_3 + \mu''\varphi_3 + \nu''\psi_3 \end{vmatrix}.$$

Appelons Δ ce déterminant, et, suivant la convention précédente, désignons encore par Δ_f, Δ_φ, Δ_ψ les déterminants qui résultent de la substitution des a aux f, φ ou ψ dans Δ. D'autre part, multiplions chacun des déterminants de l'équation (E) par δ; on obtient évidemment :

$$\Delta_f^2 + \Delta_\varphi^2 + \Delta_\psi \Delta = o, \qquad (E)''$$

et toute solution de l'équation (E)′ sera solution de (E)″. Cette dernière, étant de même forme, donne encore des abaques à cercles entrecroisés; on verra que les nouveaux réseaux sont homographiques des réseaux donnés par l'équation (E). Nous donnons donc ce théorème :

Quand la proposée est représentable par un abaque A à 3 réseaux de cercles entrecroisés, elle l'est par toute une famille d'abaques (A), homographiques d'un quelconque d'entre eux.

Ce théorème est la généralisation de celui que M. d'Ocagne a établi antérieurement, par la même méthode, dans le cas où les 3 réseaux sont formés de droites (**37**).

Comme l'équation (E)″ contient 9 paramètres, elle peut se prêter soit à une meilleure disposition de l'abaque de l'équation (E), soit à une identification avec une équation $F_{123} = o$ qu'on chercherait à représenter de cette manière.

Une pareille identification est, du reste, très délicate, et l'on pourra s'aider de nos propositions énoncées au renvoi du n° **44**.

31. — Exemple : *Murs de soutènement pour des terres profilées suivant leur talus naturel.* — La formule précédemment donnée (**22**) peut s'écrire, comme le remarque M. d'Ocagne :

$$K^2(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) + p\left(K \operatorname{tg} \varphi - \frac{1}{3}\right) = o.$$

Admettons qu'elle puisse être mise sous la forme (E) à l'aide des fonctions K, tgφ, p et de leurs puissances : comme elle est du deuxième degré en K, du deuxième degré en tgφ, et du premier degré en p, l'abaque aura un seul réseau de cercles (renvoi du n° **44**). Ce résultat se vérifie parfaitement, comme on l'a vu par l'abaque II.

La proposée rentre bien dans le type des équations correspondant à ce cas, car on peut l'écrire :

$$\begin{vmatrix} -1 & o \\ K & K^2 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} \operatorname{tg} \varphi & o \\ -\frac{1}{3} & K^2 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} \operatorname{tg} \varphi & -1 \\ -\frac{1}{3} & K \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \operatorname{tg} \varphi & -1 & o \\ -\frac{1}{3} & K & K^2 \\ -p & o & o \end{vmatrix} = o.$$

32. — *Représentation des équations quadratiques.* — Considérons l'équation quadratique :

$$\left.\begin{aligned} A_1\chi_1^2 + A_2\chi_2^2 + A_3\chi_3^2 + 2B_1\chi_2\chi_3 + 2B_2\chi_3\chi_1 + 2B_3\chi_1\chi_2 \\ + 2C_1\chi_1 + 2C_2\chi_2 + 2C_3\chi_3 + D = o, \end{aligned}\right\} \quad (E)$$

où χ_1, χ_2, χ_3 sont des fonctions de α_1, α_2, α_3.

On peut représenter cette équation par un abaque à entrecroisement composé des 3 réseaux :

$$x = l_1\chi_1, \qquad (\alpha_1)$$

$$y = l_2\chi_2, \qquad (\alpha_2)$$

$$\frac{A_1}{l_1^2}x^2 + \frac{A_2}{l_2^2}y^2 + \frac{2B_3}{l_1 l_2}xy + f(xy\chi_3) = o. \qquad (\alpha_3)$$

f étant une fonction linéaire en x et y. Les 2 premiers réseaux sont formés de parallèles aux axes des coordonnées, et le 3ᵉ de coniques semblables.

Déterminons l'angle θ des axes et les paramètres l_1, l_2 de façon que ces coniques soient des cercles. Il suffit de prendre :

$$\frac{l_1^2}{A_1} = \frac{l_2^2}{A_2} = \frac{l_1 l_2 \cos\theta}{B_3} = \frac{l_1 l_2}{\sqrt{A_1 A_2}},$$

d'où l'on déduit: $$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}},$$

$$\cos\theta = \frac{B_3}{\sqrt{A_1A_2}}.$$

Ces équations n'ont de sens que si A_1 et A_2 sont de mêmes signes et différents de zéro, et si, en outre, $\cos\theta$ est compris entre o et 1, sans atteindre l'une de ces limites; conditions qui se résument dans les suivantes :

$$A_1A_2 - B_3^2 > 0 \qquad \text{avec } B_3 \neq 0.$$

Si elles ne sont pas satisfaites, mais qu'on ait :

soit $$A_2A_3 - B_1^2 > 0 \qquad \text{avec } B_1 \neq 0,$$

soit $$A_3A_1 - B_2^2 > 0 \qquad \text{avec } B_2 \neq 0,$$

la représentation considérée est évidemment possible, le réseau de cercles étant alors (α_1) ou (α_2) au lieu d'être (α_3).

Prenons les différentielles de (α_3) par rapport à x et à y, et éliminons χ_3; nous trouvons une équation du premier degré : donc les centres des coniques sont en ligne droite.

Supposons les trois B nuls : la méthode précédente ne peut s'appliquer, mais l'équation (E) se réduit alors à :

$$A_1\chi_1^2 + A_2\chi_2^2 + A_3\chi_3^2 + 2C_1\chi_1 + 2C_2\chi_2 + 2C_3\chi_3 + D = 0.$$

Posons : $$f_n = A_n\chi_n^2 + 2C_n\chi_n + \lambda_n,$$

avec : $$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = D.$$

(E) devient : $$f_1 + f_2 + f_3 = 0,$$

qu'on peut représenter par les 3 réseaux :

$$x = l_1 f_1, \tag{α_1}$$

$$y = l_2 f_2, \tag{α_2}$$

$$\frac{x}{l_1} + \frac{y}{l_2} + f_3 = 0. \tag{α_3}$$

Le 3[e] réseau est, lui aussi, formé de droites parallèles: on peut donc dire que la représentation générale s'applique encore à ce cas, la droite des centres s'étant éloignée à l'infini.

Par suite la seule condition qui subsiste est :

$$A_mA_n - B_p^2 > 0,$$

pour un groupement quelconque (mnp), pourvu que m, n et p soient des indices différents. Donc :

Toute équation quadratique par rapport à des fonctions χ_1, χ_2, χ_3 est représentable par un abaque à 2 réseaux de droites parallèles et 1 réseau de cercles dont les centres sont sur une ligne droite, à distance finie ou infinie, sous la seule condition suivante : si l'on considère χ_1, χ_2, χ_3 comme des coordonnées courantes, l'équation quadratique représente une surface du deuxième degré, et les sections de cette surface par un quelconque des trois plans de coordonnées doit être du genre ellipse.

M. d'Ocagne a, le premier, énoncé ce remarquable théorème, sous une forme un peu différente. Notre démonstration, extrêmement simple, donne immédiatement les 3 réseaux.

Remarque. — Supposons que l'équation quadratique ne satisfasse pas à cette condition, mais qu'elle soit linéaire par rapport à chacune des fonctions χ_1, χ_2, χ_3. Elle est alors de forme :

$$2B_1\chi_2\chi_3 + 2B_2\chi_3\chi_1 + 2B_3\chi_1\chi_2 + 2C_1\chi_1 + 2C_2\chi_2 + 2C_3\chi_3 + D = 0.$$

Nous démontrerons (**49**) à quelle condition cette équation est représentable par un abaque à 3 réseaux de droites, ou mieux par un abaque formé simplement de 3 droites cotées.

33. — Exemples : *1° Volume du tronc de cône (Abaque VII).* — La formule :

$$V = \frac{\pi h}{12}(D^2 + Dd + d^2)$$

s'écrit immédiatement :

$$D^2 + 2Dd \cos 60^\circ + d^2 = \frac{12}{\pi}\frac{V}{h}.$$

Avec des axes de coordonnées faisant l'angle de 60°, on a donc les 3 réseaux :

$$x = D \qquad (D)$$

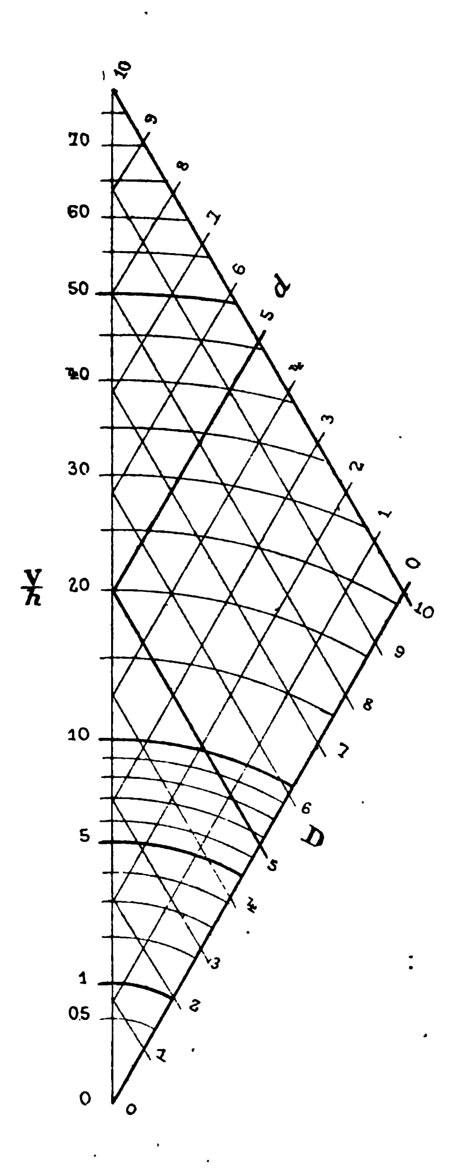
$$y = d \qquad (d)$$

$$x^2 + 2xy \cos 60^\circ + y^2 = \frac{12}{\pi}\frac{V}{h} \qquad \left(\frac{V}{h}\right)$$

Les circonférences $\left(\frac{V}{h}\right)$ sont décrites de l'origine comme centre avec des rayons $R = \sqrt{\frac{12}{\pi}}\sqrt{\frac{V}{h}}$. Comme on peut tou-

VOLUME DU TRONC DE CÔNE

Formule : $V = \frac{\pi h}{12}(D^2 + D\,d + d^2)$.



ABAQUE VII *R. Soreau*

jours supposer $d < D$, nous avons limité l'abaque à la droite $x = y$. D'autre part, afin d'appliquer le principe des multiplicateurs correspondants avec le multiplicateur 10, nous avons coté les réseaux (D) et (d) de 0 à 10. De la sorte, si D est supérieur à 10, on fait rentrer D et d dans le champ de l'abaque en divisant par une puissance 10^α convenable : la valeur lue pour $\frac{V}{h}$ doit alors être multipliée par $10^{2\alpha}$.

L'abaque a été construit avec un module l tel que $l\sqrt{\frac{12}{\pi}} = 15\ mm$.

Soit $D = 60\ m$, $d = 25\ m$. On prend $D = 6$, $d = 2{,}5$; l'abaque donne $\frac{V}{h} = 15$: la valeur cherchée est donc approximativement $1\,500 \times h$ mètres cubes.

La formule donne $1\,499 \times h$.

34. — *2° Jaugeage des tonneaux (Abaque VIII).* — On emploie parfois la formule empirique :

$$V = 1{,}0453\,h\,(0{,}4D^2 + 0{,}2Dd + 0{,}15d^2).$$

Prenons des axes de coordonnées dont l'angle a pour cosinus $\frac{1}{\sqrt{6}}$. Nous avons les 3 réseaux :

$$x = \sqrt{0{,}4}\,D \qquad (D)$$

$$y = \sqrt{0{,}15}\,d \qquad (d)$$

d'où :

$$x^2 + 2xy\frac{1}{\sqrt{6}} + y^2 = \frac{1}{1{,}0453}\frac{V}{h}. \qquad \left(\frac{V}{h}\right)$$

Les circonférences ont encore l'origine comme centre commun ; leur rayon est $\frac{1}{1{,}023}\sqrt{\frac{V}{h}}$.

L'abaque a été construit avec le module $l = 102{,}3\ mm$. Comme on a toujours $d < D$, nous avons limité l'abaque à un angle $\varphi < \frac{\theta}{2}$.

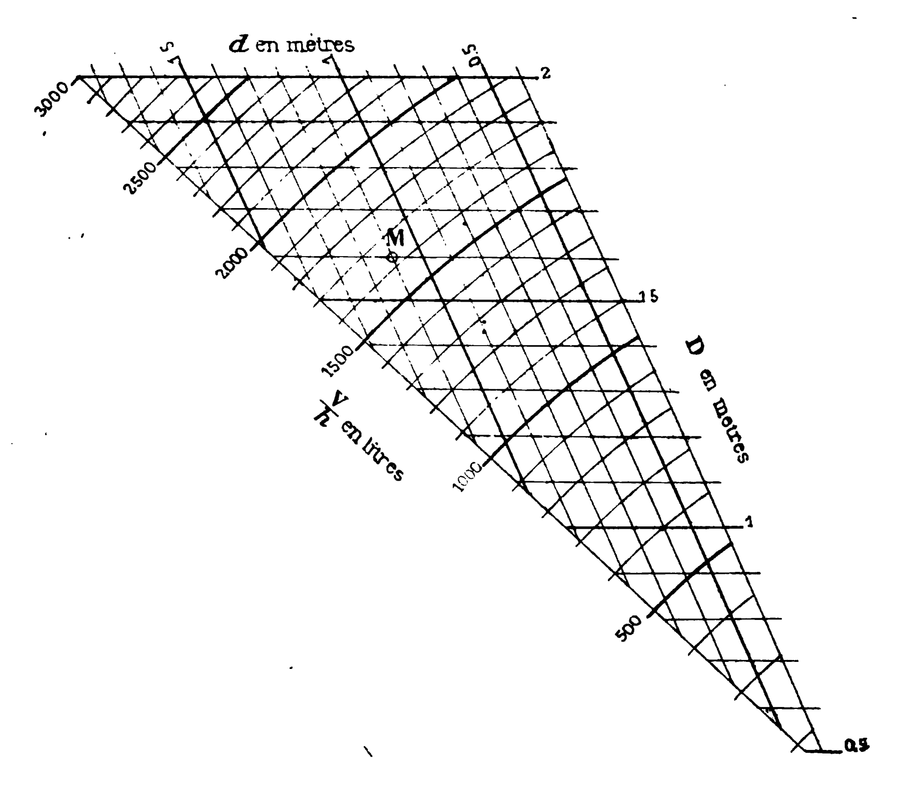
Pour $D = 1{,}6$, $d = 1{,}1$, l'abaque donne $V = 1\,630 \times h$ litres : avec la formule, on trouverait $1\,629 \times h$ litres.

JAUGEAGE DES TONNEAUX

Formule :

$$V = 1{,}0453\,h\,(0{,}4\,D^2 + 0{,}2\,Dd + 0{,}15\,d^2)$$

- **V**, Volume en m. cubes
- **h**, Hauteur en m.
- **D**, Diamètre à la bonde. en m
- **d**, — id. — aux extrémités en m.

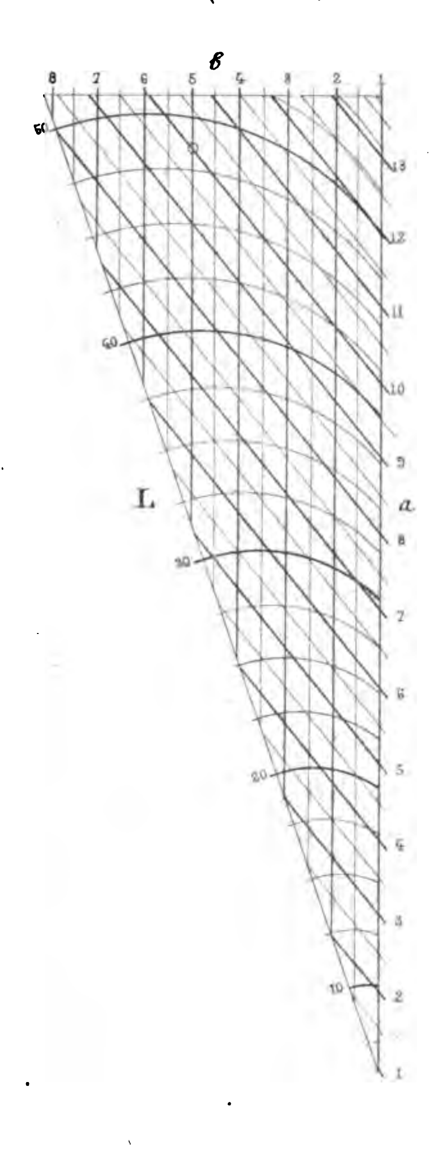


ABAQUE VIII *R. Soreau*

LONGUEUR DE L'ELLIPSE

Formule de M. Boussinesq : $L = \pi \left[\frac{3}{2}(a+b) - \sqrt{ab}\right]$

L longueur de l'ellipse
a et *b*, 1/2 longueurs des axes



ABAQUE IX

R. Soreau

35. — *3° Longueur de l'ellipse (Abaque IX).* — M. Boussinesq a donné la formule approchée :

$$L = \pi \left[\frac{3}{2}(a+b) - \sqrt{ab}\right]$$

que nous pouvons écrire :

$$a^2 + b^2 + 2\frac{7}{9}ab - \frac{4}{3}(a+b)\frac{L}{\pi} + \frac{4}{9}\frac{L^2}{\pi^2} = 0.$$

Prenons des axes de coordonnées dont l'angle a pour cosinus $\frac{7}{9}$. Nous avons les 3 réseaux :

$$x = a \qquad (a)$$

$$y = b \qquad (b)$$

$$x^2 + y^2 + 2xy\frac{7}{9} - \frac{4}{3}(x+y)\frac{L}{\pi} + \frac{4}{9}\frac{L^2}{\pi^2} = 0. \qquad (L)$$

Cette équation étant symétrique en x et y, les cercles ont leurs centres sur la bissectrice de l'angle xOy ; d'autre part, ils sont tangents aux axes de coordonnées, car si l'on fait $y = 0$ on a :

$$\left(x - \frac{2}{3}\frac{L}{\pi}\right)^2 = 0.$$

Élevons au point $x = \frac{2}{3}\frac{L}{\pi}$ une perpendiculaire à Ox jusqu'à son intersection avec la bissectrice de xOy : nous aurons ainsi le centre d'un cercle quelconque L, par exemple du cercle coté **10**. Il suffira de diviser régulièrement la bissectrice, dont on connaît les cotes 0 et **10**, pour avoir les centres des différents cercles.

Par un point (ab) passent deux cercles L, qui correspondent aux valeurs $\sqrt{ab}$ et $-\sqrt{ab}$ dans la proposée. Or, c'est $-\sqrt{ab}$ qui convient à la mesure de la longueur de l'ellipse; il faut donc limiter les cercles à la partie opposée au point O, entre la bissectrice et le point de contact avec Ox.

L'abaque a été construit avec $l = 1$. Pour $a = 10$, $b = 5$, il donne $L = 48.5$.

B. — ABAQUES A RÉSEAUX RECTILIGNES ET ABAQUES CORRÉLATIFS A POINTS ALIGNÉS

I. — Famille d'abaques à réseaux rectilignes (Δ) et famille d'abaques à points alignés [Δ].

36. — *Disjonction des variables.* — Nous avons vu que la forme la plus générale des équations représentables par 3 réseaux de lignes droites :

$$xf_n + y\varphi_n + \psi_n = 0. \qquad (\alpha_n)$$

est donnée par :

$$D = \begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & \psi_2 \\ f_3 & \varphi_3 & \psi_3 \end{vmatrix} = 0. \qquad (E)$$

C'est, en effet, le résultat de l'élimination de x et de y entre les équations des 3 réseaux.

Si donc on peut mettre l'équation proposée $F_{123} = 0$ sous la forme $D = 0$, on réalise l'anamorphose complète de l'abaque : l'idée de cette anamorphose des équations à 3 variables est due, nous l'avons dit, à M. Massau.

La mise de la proposée sous la forme d'un déterminant permet d'obtenir les équations (α_1) (α_2) et (α_3) des 3 réseaux : d'où le nom de *disjonction des variables* donné par M. d'Ocagne à cette opération. L'abaque résulte donc immédiatement de l'équation $D = 0$: c'est pourquoi nous l'appellerons abréviativement abaque (D).

37. — *Famille d'abaques homographiques* (Δ) *de l'abaque* (D). — Il est remarquable que, *si la disjonction est possible, elle l'est d'une infinité de manières.* Cette importante proposition est due à M. d'Ocagne. Elle résulte, comme cas particulier, de notre théorème du n° **30**. Nous la complèterons plus loin (**48**) pour la classe intéressante d'équations représentables par 3 réseaux de droites parallèles ou concourantes, et, corrélativement, par 3 droites cotées.

La famille Δ s'obtient, comme on l'a vu, en multipliant l'équa-

tion (E) par le déterminant δ envisagé au n° **30**. On a alors 3 réseaux de la forme :

$$\left. \begin{array}{l} x(\lambda f_n + \mu\varphi_n + \nu\psi_n) + y(\lambda' f_n + \mu'\varphi_n + \nu'\psi_n) \\ \quad + (\lambda'' f_n + \mu''\varphi_n + \nu''\psi_n) = 0. \end{array} \right\} \quad (\alpha_n)'$$

que nous écrivons :

$$(\lambda x + \lambda' y + \lambda'')f_n + (\mu x + \mu' y + \mu'')\varphi_n + (\nu x + \nu' y + \nu'')\psi_n = 0.$$

On voit qu'on peut déduire $(\alpha_n)'$ de (α_n) en substituant dans celle-ci à x et à y les valeurs :

$$x = \frac{\lambda X + \lambda' Y + \lambda''}{\nu X + \nu' Y + \nu''} \qquad y = \frac{\mu X + \mu' Y + \mu''}{\nu X + \nu' Y + \nu''}.$$

C'est l'expression analytique générale des figures homographiques, telle qu'elle a été donnée par Chasles (1). Par conséquent, la famille d'abaques (Δ) est celle de tous les abaques homographiques d'un quelconque d'entre eux (D); son équation s'obtient de suite si l'on connaît D : c'est pourquoi nous dirons que D est le déterminant *générateur* des déterminants Δ. Le problème consiste donc à obtenir d'abord un déterminant D quelconque, sans se préoccuper, quant à présent, de la bonne disposition de l'abaque, et sans par conséquent s'embarrasser de modules.

Posons :

$$\begin{aligned} \lambda f_n + \mu \varphi_n + \nu \psi_n &= F_n, \\ \lambda' f_n + \mu' \varphi_n + \nu' \psi_n &= \Phi_n, \\ \lambda'' f_n + \mu'' \varphi_n + \nu'' \psi_n &= \Psi_n. \end{aligned}$$

Le déterminant Δ, à **9** paramètres arbitraires, s'écrit alors :

$$\Delta = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} (x) & (y) & (t) \\ [x] & [y] & [t] \end{array} \\ \left| \begin{array}{ccc} F_1 & \Phi_1 & \Psi_1 \\ F_2 & \Phi_2 & \Psi_2 \\ F_3 & \Phi_3 & \Psi_3 \end{array} \right| \end{array} = 0. \qquad \text{(E)}$$

Pour abréger, nous indiquerons symboliquement la formation des réseaux $(\alpha_n)'$, à savoir :

$$xF_n + y\Phi_n + \Psi_n = 0,$$

en mettant au-dessus des colonnes F_n, Φ_n, Ψ_n du déterminant Δ les signes $(x)\,(y)\,(t)$, t étant la coordonnée homogène.

(1) *Traité de Géométrie supérieure* (p. 357).

Remarque. — Il ne faut pas conclure de ce qui précède que le déterminant Δ comprenne nécessairement tous les modes de disjonction de la proposée. Nous établirons (48) que, grâce à l'artifice de l'anamorphose logarithmique et de l'anamorphose exponentielle, toute la classe d'équations représentables par 3 droites cotées peut être représentée par *deux* familles distinctes d'abaques homographiques, qui, elles, comprennent tous les modes de disjonction.

38. — *Famille d'abaques à points alignés* [Δ]. — Considérons les 3 courbes :

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{F_n}{\Psi_n}, \\ y &= \frac{\Phi_n}{\Psi_n}. \end{aligned}\right\} \qquad [\alpha_n]$$

Δ = o exprime aussi que les 3 points cotés $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3$, correspondant à une solution ($\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3$) de la proposée, sont en ligne droite. Nous indiquerons la formation des courbes [α_n] en écrivant au-dessus des colonnes F_n, Φ_n, Ψ_n du déterminant Δ les symboles [x] [y] [t] mis entre [], afin de les distinguer des symboles correspondant aux abaques à réseaux, mis entre (). Pour que ces courbes puissent être tracées, il suffit qu'aucun des termes de la colonne [t] ne soit nul, dans le champ des variations envisagé, ce qui s'obtient très simplement, par exemple en ajoutant à cette colonne les colonnes [x] et [y] multipliées ou non par un paramètre.

Ainsi donc, quand la disjonction est opérée, on peut représenter l'équation soit par un abaque à entrecroisement de la famille (Δ), soit par un abaque à points alignés de la famille [Δ], et chacune de ces familles comprend tous les abaques qui peuvent se déduire par transformation homographique d'un quelconque d'entre eux. En outre, les deux familles (Δ) et [Δ] sont ce que Chasles appelle des familles de *figures corrélatives*, c'est-à-dire qu'un abaque (Δ) et un abaque [Δ] sont tels qu'à une droite de l'un correspond un point de l'autre, et réciproquement.

Tel est le principe analytique de la méthode des points alignés de M. d'Ocagne.

39. — Exemple : *Portées lumineuses (Abaques X et XI).* — 1° Prenons l'équation des portées lumineuses

$$100 La^d = d^2$$

où a désigne le coefficient de transparence du milieu, L l'intensité lumineuse, d la portée en kilomètres.

Nous pouvons l'écrire :

$$\log 100\mathrm{L} = - d \log a + 2 \log d. \qquad \text{(E)}$$

En prenant :

$$x = - l_1 \log a \qquad (a)$$

$$y = l_2 \log 100\mathrm{L}, \qquad \text{(L)}$$

on a :

$$\frac{y}{l_2} = d \frac{x}{l_1} + 2 \log d. \qquad (d)$$

L'abaque est donc constitué par 3 réseaux de droites, dont 2 sont formés de parallèles aux axes de coordonnées. M. Allard, Ingénieur en chef du Service des Phares, a construit ainsi un abaque, dont la figure X est un fragment (1). Au lieu de droites à cotes rondes pour les réseaux (a) et (L), il a pris des droites équidistantes. De plus, comme nous l'avons expliqué au paragraphe des multiplicateurs correspondants, la seconde graduation de a donne les valeurs $\frac{\mathrm{L}}{100}$ et $\frac{d}{10}$, L et d étant les cotes inscrites sur l'abaque.

2° Des équations (a) (L) (d) on déduit, en se débarrassant des modules, c'est-à-dire en prenant $l_1 = l_2 = 1$:

$$\mathrm{D} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \log a \\ 0 & 1 & -\log 100\mathrm{L} \\ d & -1 & 2 \log d \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \log a \\ 0 & 1 & \log 100\mathrm{L} \\ d & 1 & 2 \log d \end{vmatrix} = 0$$

d'où, en multipliant par δ,

$$\Delta = \begin{vmatrix} \lambda + \nu \log a & \lambda' + \nu' \log a & \lambda'' + \nu'' \log a \\ \mu + \nu \log 100\mathrm{L} & \mu' + \nu' \log 100\mathrm{L} & \mu'' + \nu'' \log 100\mathrm{L} \\ \lambda d + \mu + 2\nu \log d & \lambda' d + \mu' + 2\nu' \log d & \lambda'' d + \mu'' + 2\nu'' \log d \end{vmatrix} = 0$$

(colonnes : $[x]$, $[y]$, $[t]$)

Ce déterminant Δ donne les familles (Δ) et [Δ] dont il vient d'être parlé, et parmi lesquelles il convient de choisir l'abaque le plus convenable.

(1) *Mémoire sur l'intensité et la portée des Phares*, Imprimerie nationale, 1876.

Nous allons montrer sur cet exemple, et pour ne plus avoir à y insister dans la suite, comment on peut fixer le choix des paramètres. Tout d'abord, nous aurons recours à un abaque à points alignés, beaucoup plus clair qu'un abaque à réseaux entrecroisés.

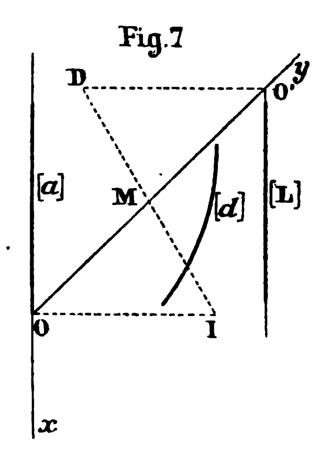
Les courbes [a] et [L] sont des droites ; cherchons à les former de deux parallèles qui limiteront l'abaque, la courbe [d] étant comprise entre elles, comme il convient puisque d est généralement l'inconnue (**7**). En faisant coïncider [a] avec l'axe des y, on est conduit à annuler λ, ν et ν''. D'autre part, on peut, sans que le déterminant δ soit nul, annuler aussi λ' et μ', ce qui simplifie les calculs.

Pour que [d] soit entre [a] et [L] il faut qu'on ait :

$$o < \frac{\mu}{\mu''} < \frac{\mu}{\lambda'' d + \mu''},$$

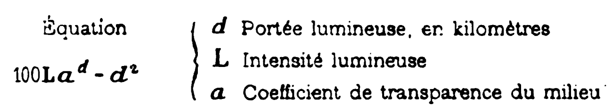
ce qui a lieu par exemple si l'on prend tous les paramètres positifs. Comme log a est négatif, l'abaque se présente alors sous la forme indiquée *fig.* 7. Il convient évidemment, pour bien utiliser

Fig. 7



la feuille de dessin, de donner la même longueur aux segments cotés des échelles [a] et [L], et de les mettre en regard l'un de l'autre, de façon à avoir un abaque limité par un rectangle. Les valeurs des paramètres, eu égard à cette condition, devront ensuite être arrondies, pour simplifier les expressions. Étant donnée la grandeur de la feuille de dessin, nous avons été conduit à prendre $\frac{\nu'}{\lambda''} = 200\ mm$, $\frac{\nu'}{\mu''} = 5\ mm$. On voit ensuite quel angle il convient d'adopter pour xOy, ce qui détermine $OO' = \frac{\mu}{\mu''}$, que

PORTÉES LUMINEUSES



Équation $100La^d = d^2$

- d Portée lumineuse, en kilomètres
- L Intensité lumineuse
- a Coefficient de transparence du milieu

λ

L : 100 — 89.1 — 79.4 — 70.8 — 63.1 — 56.2 — 50.1 — 44.7 — 39.8 — 35.5 — 31.6 — 28.2 — 25.1 — 22.4 — 20.0 — 17.8 — 15.8 — 14.1 — 12.6 — 11.2 — 10.0 — 8.91 — 7.94 — 7.08 — 6.31 — 5.62 — 5.01 — 4.47 — 3.98 — 3.55 — 3.16 — 2.82 — 2.51 — 2.24 — 2.00 — 1.78 — 1.58 — 1.41 — 1.26 — 1.12 — 1.00 — 0.89 — 0.79 — 0.71 — 0.63 — 0.56 — 0.50 — 0.45 — 0.40 — 0.36 — 0.32

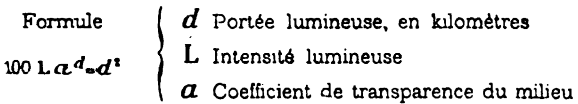
d : 20 — 19 — 18 — 17 — 16 — 15 — 14 — 13 — 12 — 11 — 10 — 9 — 8 — 7 — 6 — 5

a :

1,000	0.997	0.993	0.990	0.986	0.983	0.980	0.976	0.973	0.969	0.966	0.963	0.959	0.956	0.953	0.949	0.946	0.943	0.940	0.936	0.933	0.930	0.927	0.923	0.920	0.917	0.914	0.911	0.908	0.905	0.902	0.898	0.895	0.892	0.889	0.886	0.883	0.880	0.877	0.874	0.871	0.868	0.865	0.862	0.859	0,856
1,000	0,966	0.933	0.902	0.871	0.841	0.813	0.785	0.759	0.733	0.708	0.684	0.661	0.638	0.617	0.596	0.575	0.556	0.537	0.519	0.501	0.484	0.468	0.452	0.437	0.422	0.407	0.394	0.380	0,367	0.355	0.343	0.331	0.320	0.309	0,299	0.288	0.279	0.269	0.260	0.251	0.243	0.234	0.226	0,219	0,211

ABAQUE X *E. Allard*

PORTÉES LUMINEUSES



pour $\frac{L}{100}$ $\frac{d}{10}$ | L d

0,20 — 0,85
0,30
0,90
0,40
a
0,50
0,60 — 0,95
0,70
0,80
0,90
1 — 1

d
4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100

L
0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100

ABAQUE XI *R. Soreau*

nous avons pris égal à **24** *mm*. Nous avons ainsi obtenu les **3** courbes :

$$\begin{cases} x = 0, \\ y = 200 \log a. \end{cases} \qquad [a]$$

$$\begin{cases} x = 24, \\ y = 5 \log 100\text{L}. \end{cases} \qquad [\text{L}]$$

$$\begin{cases} x = \dfrac{24}{1 + \dfrac{d}{40}} \\ y = \dfrac{10}{1 + \dfrac{d}{40}} \log d. \end{cases} \qquad [d]$$

où les coordonnées sont exprimées en *mm*.

Les échelles logarithmiques y_a et y_L se construisent immédiatement. Pour construire [*d*], il est commode de considérer le réseau $\frac{y}{x} = \frac{10}{24} \log d$, formé de droites issues de l'origine, et qui coupent l'échelle L aux points $y = 10 \log d$: il suffit donc de tracer cette échelle logarithmique pour avoir ces radiantes, dont on prend l'intersection avec le faisceau de parallèles définies par $x_d = \dfrac{24}{1 + \dfrac{d}{40}}$.

Nous allons appliquer à la graduation de l'échelle linéaire générale x_d la construction indiquée au n° **6**. Pour $d = 0$, on a $x_d = 24$, c'est-à-dire le point O′. Par ce point, menons une droite quelconque O′D, et donnons à D la cote 40 : sur x_d cette cote correspond au point M milieu de OO′ ; en menant MD, nous avons un premier lieu du centre de rayonnement I. D'autre part $d = \infty$ donne $x_d = 0$, c'est-à-dire le point O ; la parallèle à O′D menée par le point O est un second lieu de I, qui se trouve ainsi déterminé. Il suffit donc de joindre le point I aux points de l'échelle régulière O′D pour avoir, aux intersections avec OO′, les points de l'échelle x_d.

Nous avons également appliqué à cet abaque à points alignés le principe des multiplicateurs correspondants, d'où la seconde graduation de [*a*] qui correspond, comme cela est indiqué sur l'abaque, aux valeurs $\frac{\text{L}}{100}$ et $\frac{d}{10}$.

40. — ***Construction géométrique permettant de déduire un abaque [Δ] d'un abaque (Δ).*** — L'équation $F_{123} = 0$ étant donnée, il n'est nullement nécessaire de s'inquiéter de chercher des formules qui permettent la transformation d'un abaque (Δ) en un abaque [Δ] : quand la disjonction des variables a été opérée d'une façon quelconque, la mise sous la forme de déterminant générateur supplée avantageusement à une semblable transformation : c'est ce qu'on vient de voir sur l'exemple précédent.

Mais, si l'on ignore la forme analytique de la fonction $F_{123} = 0$ qui représente une loi naturelle, et qu'on soit néanmoins parvenu, à l'aide de données expérimentales, à la représenter par un abaque à entrecroisement composé de 3 réseaux rectilignes, il est très intéressant, particulièrement en vue de la détermination même de la loi $F_{123} = 0$, de savoir déduire de cet abaque un des abaques à points alignés [Δ]. En effet, les courbes de ce dernier se prêtent beaucoup mieux à la recherche de la fonction analytique. Nous en donnerons de remarquables exemples au dernier Chapitre.

Le principe du mode de transformation proposé par M. d'Ocagne peut s'établir comme suit :

Considérons l'abaque à entrecroisement

$$x f_n + y \varphi_n + \psi_n = 0, \qquad (\alpha_n)$$

on a :

$$\begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & \psi_2 \\ f_3 & \varphi_3 & \psi_3 \end{vmatrix} = 0,$$

ce que nous pouvons écrire :

$$\begin{vmatrix} f_1 - \varphi_1 & f_1 + \varphi_1 & -\psi_1 \\ f_2 - \varphi_2 & f_2 + \varphi_2 & -\psi_2 \\ f_3 - \varphi_3 & f_3 + \varphi_3 & -\psi_3 \end{vmatrix} = 0.$$

Nous en déduisons, entre autres, l'abaque à points alignés défini par les 3 courbes :

$$\left.\begin{aligned} x &= -d\,\frac{f_n - \varphi_n}{f_n + \varphi_n}, \\ y &= -\frac{\psi_n}{f_n + \varphi_n}. \end{aligned}\right\} \qquad [\alpha_n]$$

Écrivons ces relations :

$$x - d = -2d\,\frac{f_n}{f_n + \varphi_n}$$

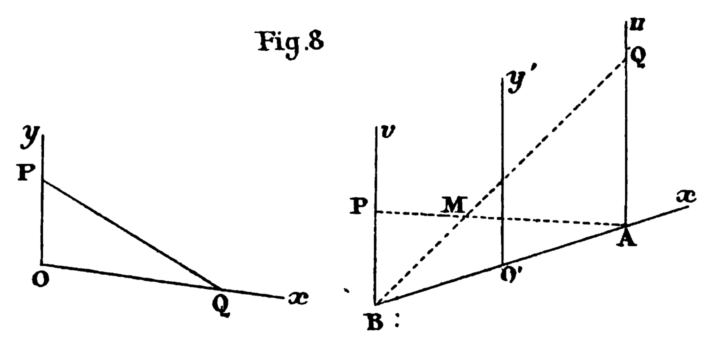
$$y = -\frac{\psi_n}{f_n + \varphi_n}$$

d'où l'on déduit :

$$\frac{x-d}{y} = \frac{2d}{\frac{\psi_n}{f_n}}$$

Cette équation représente une famille de droites, sur lesquelles se trouvent les points $[\alpha_n]$, et qui passent par les deux points $(x = d,\ y = o)$, $\left(x = -d,\ y = -\frac{\psi_n}{f_n}\right)$. Or la valeur $y = -\frac{\psi_n}{f_n}$ représente les ordonnées à l'origine des droites (α_n) de l'abaque à entrecroisement.

Ainsi donc *(fig. 8)*, à une droite (α_n) quelconque de l'abaque à entrecroisement, représentée par PQ, correspond, dans l'abaque corrélatif considéré, un point $[\alpha_n]$, et ce point se trouve sur une droite AP ainsi définie : $O'x'$, $O'y'$ étant les axes de coordonnées,



d'ailleurs quelconques, de l'abaque à points alignés, Au et Bv des parallèles à $O'y'$ telles que $O'A = O'B = d$, il suffit de prendre $BP = OP$, et de joindre les points A et P.

On démontrerait de même que le point corrélatif de PQ se trouve sur la droite BQ telle que $AQ = OQ$. Il est donc à l'intersection M de ces droites.

Remarque I. — D'après cette construction, un faisceau de parallèles à Ox a pour figure corrélative la droite Bv, un faisceau de parallèles à Oy a pour figure corrélative la droite Au, un faisceau de radiantes passant par O a pour figure corrélative la droite AB.

Remarque II. — La démonstration qui précède montre aussi qu'on peut passer analytiquement d'un abaque à réseaux de droites à un abaque à points alignés à l'aide des formules de transformation :

$$x = - d \frac{f_n - \varphi_n}{f_n + \varphi_n},$$

$$y = - \frac{\psi_n}{f_n + \varphi_n}.$$

Mais, puisque nous supposons ici que l'expression analytique $D = o$ de la loi est connue, le déterminant $\Delta = o$ qui en résulte résout plus aisément et plus complètement la question, en donnant de suite tous les abaques $[\Delta]$.

C'est ainsi que, pour l'abaque XI, la considération du déterminant Δ nous a permis, grâce aux paramètres qu'il contient, d'obtenir une bonne disposition, que n'auraient pas donnée ni la transformation géométrique de l'abaque X, ni la transformation par les formules ci-dessus.

Il n'y a donc intérêt à recourir à la transformation par voie géométrique que si l'on ignore l'expression analytique d'une loi, représentée par un abaque à entrecroisement à l'aide de données expérimentales. C'est ce qui a été fait dans les recherches relatées au dernier Chapitre, et dans l'exemple qui va suivre.

41. — *Tirage dans les locomotives (Abaque XII).* — L'anamorphose totale du réseau curviligne de l'abaque V, que nous avons opérée à l'abaque VI, nous a permis de transformer ce dernier en un abaque XII à points alignés. On arrive ainsi à ce résultat curieux *de remplacer chacune des courbes* N_0, $N_{1/4}$, ... $N_{4/4}$, *de l'abaque* V *par un simple point* o, 1/4 ... 4/4, ces divers points étant d'ailleurs en ligne droite. Pour un échappement déterminé, il suffit de faire pivoter une droite autour du point correspondant, et l'on a la vaporisation en fonction du tirage.

Il en résulte immédiatement qu'en posant :

$$u_V = f(V),$$

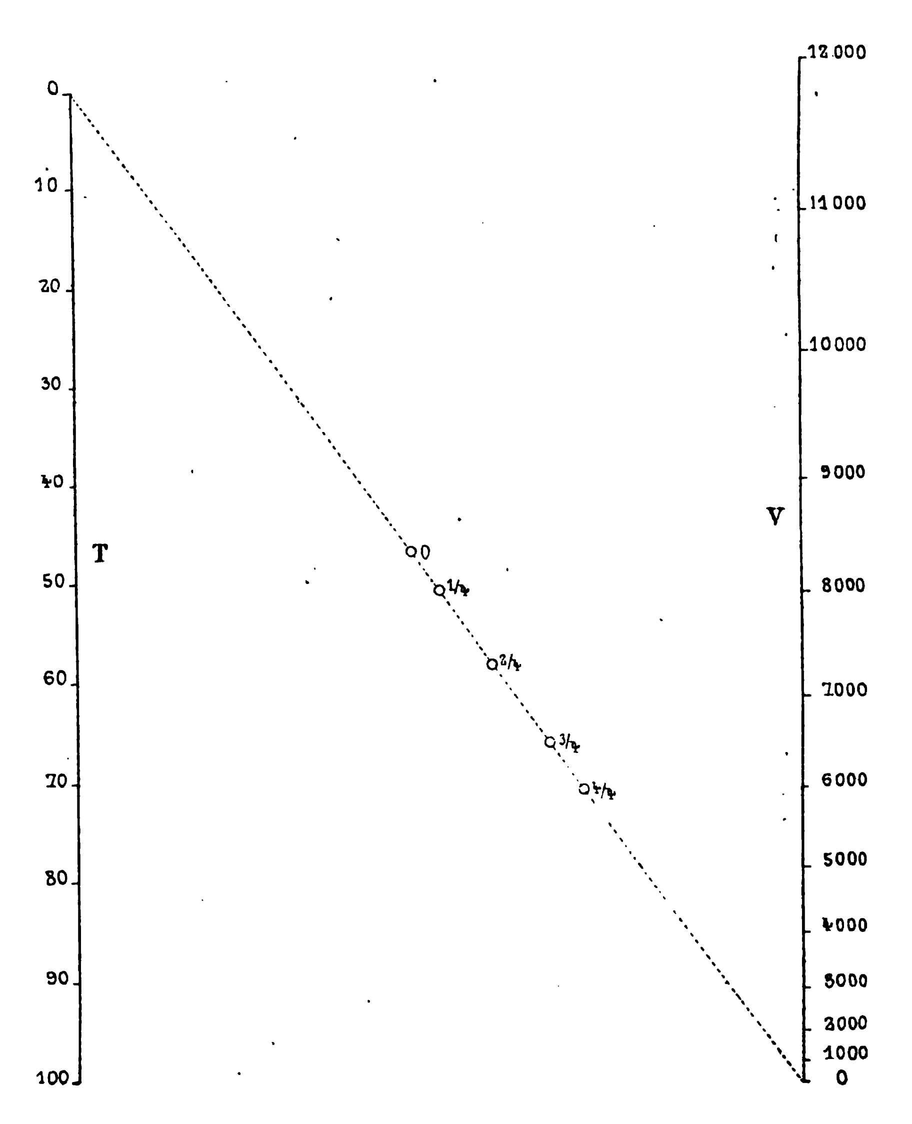
on a pour le tirage une loi *approchée* de la forme :

$$T_n = \lambda_n f(V),$$

T_n étant le tirage à l'échappement n.

TIRAGE DANS LES LOCOMOTIVES

Résultats d'Essais sur la locomotive C-12 de la Cie P. L. M.



ABAQUE XII *R. Soreau*

Nous avons été conduit à prendre :

$$T_0 = 0{,}55 \left[\frac{V}{1000}\left(\frac{V}{1000} + 2\right)\right],$$

$$T_{1/4} = 0{,}63 \quad —$$

$$T_{2/4} = 0{,}82 \quad —$$

$$T_{3/4} = 1{,}23 \quad —$$

$$T_{4/4} = 1{,}43 \quad —$$

On peut vérifier, sur l'abaque primitif V, que ces formules reproduisent assez sensiblement le graphique des essais, dont les courbes ne donnaient d'ailleurs que des résultats moyens.

Cet exemple n'est, du reste, relaté ici qu'à titre d'indication pour la recherche de lois approchées. Nous étudierons au dernier Chapitre d'autres exemples où les lois obtenues présentent au contraire un très grand caractère de certitude.

42. — *Conséquences de l'homographie et de la corrélation.* — Les abaques à entrecroisement (Δ) étant homographiques, il s'ensuit *a priori* que si, dans l'un d'eux, un ou plusieurs réseaux sont formés de droites concourantes ou de droites ayant pour enveloppe une courbe de degré n, les mêmes propriétés se retrouvent dans tous les abaques (Δ).

De même, les abaques à points alignés [Δ] étant homographiques, le degré de chacune des courbes reste le même dans tous ces abaques. Si les 3 courbes sont concourantes dans l'un d'eux, elles le sont dans tous ; si, en particulier, ce sont 3 droites concourantes, il y a un abaque pour lequel ces droites sont parallèles, et, pour l'obtenir, il suffit de choisir les paramètres $\lambda\mu\ldots\nu''$ de façon à rejeter à l'infini le point de concours.

Cette possibilité de rejeter à l'infini des points à distance finie, et inversement, peut être utilisée, par exemple de façon à ramener dans les limites de l'épure la graduation d'une courbe $[\alpha_n]$ qui s'étend jusqu'à l'infini.

La transformation homographique peut aussi être utilisée de façon à donner à la portion utile d'un abaque à points alignés une forme déterminée, un rectangle, par exemple, comme nous l'avons vu dans l'exemple du n° **39** ; ou à déformer les courbes $[\alpha_n]$ de façon à resserrer les parties de la graduation qui sont trop dilatées, et à dilater au contraire les parties trop

resserrées : la construction que le capitaine d'artillerie Lafay (1) a indiquée dans ce but, par d'élégantes considérations de Géométrie descriptive, se déduirait facilement de ce théorème, dû à Chasles (2) : *deux figures homographiques de construction générale peuvent toujours être placées de façon à être la perspective l'une de l'autre.*

Enfin, de ce que les familles (Δ) et [Δ] sont corrélatives, il serait aisé de déduire *a priori* un certain nombre de propositions. La plus importante, en Nomographie, est la suivante :

Si un réseau (α_n) *est formé de droites concourant en un point I, la courbe corrélative* $[\alpha_n]$ *est une droite, car c'est elle-même la figure corrélative du point I; inversement, si la courbe* $[\alpha_n]$ *est une droite, les droites du réseau* (α_n) *concourent en un point à distance finie ou infinie.*

La condition analytique de ce fait est qu'il existe entre f_n, φ_n et ψ_n une relation linéaire :

$$af_n + b\varphi_n + c\psi_n = 0. \qquad (c)$$

En effet, considérons un réseau :

$$xf_n + y\varphi_n + \psi_n = 0. \qquad (\alpha_n)$$

L'équation (c) exprime que les courbes de ce réseau passent par le point de coordonnées homogènes a, b, c. Cela étant, l'élimination de α_n entre les équations :

$$\left\{\begin{aligned} x &= \frac{f_n}{\psi_n}, \\ y &= \frac{\varphi_n}{\psi_n}, \end{aligned}\right. \qquad [\alpha_n]$$

donne, eu égard à la condition (c) :

$$ax + by + c = 0.$$

La courbe $[\alpha_n]$, corrélative du réseau (α_n), est donc une droite.

Les diverses propositions qui précèdent, et d'autres que nous n'énonçons pas, sont toutes implicitement contenues dans la forme même de l'équation $\Delta = 0$, écrite sous les espèces d'un déterminant. Les exemples que nous donnons montrent la grande souplesse de cette forme : elle se prête à toutes les exigences possibles en vue d'une bonne disposition de l'abaque cherché.

(1) Thèse de Doctorat, *Annales de Physique et de Chimie*, 1899.
(2) *Traité de Géométrie supérieure.*

II. — Degrés et ordre nomographiques.

43. — D'après ce qui vient d'être dit, la partie essentielle du problème consiste à opérer, par un procédé quelconque, la disjonction des variables, c'est-à-dire à trouver un déterminant générateur D. C'est là, du reste, une opération parfois laborieuse et délicate. Avant de l'entreprendre, il y a donc un réel intérêt à connaître d'avance les caractères géométriques des abaques auxquels on peut être conduit, pour autant que la disjonction soit possible : on a ainsi un renseignement fort utile pour mener à bien cette opération.

Le problème a été résolu par divers géomètres pour certaines formes particulières de la fonction $E_{123} = o$. L'introduction de notions nouvelles, à savoir les degrés et l'ordre nomographiques, nous a conduit à classer rationnellement ces résultats et à en obtenir, dans certains cas, de plus généraux.

Une équation $F_{12...n} = o$ étant donnée, dégageons-y des fonctions $f_k \varphi_k \psi_k \chi_k ...$ de la variable α_k; nous avons :

$$F = \Sigma A f_k^m \varphi_k^n \psi_k^p \chi_k^q \ldots$$

les expressions A étant indépendantes de α_k. Si l'on considère F comme un polynôme en $f_k \varphi_k \psi_k \chi_k ...$, son degré *par rapport à ces fonctions* est ce que nous appelons le *degré nomographique* du groupe k.

Si $F = o$ est homogène par rapport aux fonctions de α_k mises en évidence, *détruisons cette homogénéité*; le nombre de ces fonctions s'abaisse alors à N_k. Le nombre total des fonctions en α_1, $\alpha_2, \ldots \alpha_k, \ldots \alpha_n$ ainsi trouvées, c'est-à-dire $p = \Sigma N_k$, est ce que nous appelons l'*ordre nomographique* de la proposée.

Les degrés et l'ordre nomographiques de $F = o$ n'ont donc rien d'absolu, puisqu'ils dépendent des fonctions $f_k \varphi_k \psi_k \chi_k \ldots$ qu'on y dégage, et qu'il y a une certaine latitude dans leur choix. Mais, avec un peu d'habitude, on reconnaîtra bien vite quelles fonctions il convient de mettre en évidence.

44. — Examinons le cas où F est fonction de 3 variables. Supposons la disjonction possible avec les fonctions $f_1 f_2 \ldots \psi_3$. F_{123} peut alors se mettre sous la forme $D = o$ du n° **36**, où les fonctions envisagées sont au nombre de 3 au moins et de 6 au plus : les 3 degrés nomographiques sont égaux à 1, et l'ordre

est compris entre 3 et 6, car, en détruisant l'homogénéité, il ne reste plus que 2 fonctions dans chaque groupe, par exemple :

$$\chi_n = \frac{f_n}{\psi_n}, \qquad \zeta_n = \frac{\varphi_n}{\psi_n}.$$

S'il existe entre f_n, φ_n, ψ_n une relation :

$$af_n + b\varphi_n + c\psi_n = 0,$$

les 2 fonctions χ_n, ζ_n se réduisent à 1 fonction, et inversement : la courbe $[\alpha_n]$ est alors une droite (42).

De ces considérations nous avons déduit la règle suivante :

Pour que la disjonction des variables de l'équation $F_{123} = 0$ *puisse se faire à l'aide des fonctions* $f_1 f_2 \ldots \psi_3$, *il faut que les 3 degrés nomographiques soient égaux à 1, et que l'ordre nomographique* p *soit compris entre 3 et 6,*

$$3 \leqslant p \leqslant 6.$$

Les abaques à alignement ont alors $(6-p)$ *échelles rectilignes.*

Mais ces conditions ne sont pas suffisantes. Autrement dit, de ce que les degrés nomographiques sont égaux à 1, et que l'ordre nomographique est compris entre 3 et 6, il ne s'ensuit pas que la disjonction soit possible par les fonctions $f_1 f_2 \ldots \psi_3$.

Il peut arriver alors que la disjonction s'opère en dégageant dans la proposée d'autres fonctions $f'_1 f'_2 \ldots \psi'_3$; il est bien évident que c'est à ces dernières fonctions qu'il faut appliquer notre règle pour déterminer le nombre de courbes $[\alpha_n]$ qui se réduisent à des droites (1).

45. — Nous allons préciser ces considérations sur des exemples dont nous aurons plus loin à établir les abaques.

(1) On pourrait appliquer la notion des degrés et de l'ordre nomographiques à la forme générale des équations représentables par des réseaux de cercles et de droites. Les 3 degrés nomographiques sont alors 1 ou 2, et l'ordre nomographique p est compris entre 3 et 9. Il est facile d'établir les propositions suivantes :

Au cas où l'équation $F_{123} = 0$ peut être mise sous la forme :

$$D_f^2 + D_\varphi^2 + D\psi D = 0,$$

à l'aide des fonctions $f_1 f_2 \ldots \psi_3$,

si $p = 9$, il y a 3 réseaux de cercles,
— 8, — 2 — , au moins,
— 7, — 1 — , —

Il n'y a jamais un nombre pair de groupes de degré 1.

Si 3 groupes sont de degré 2, il y a 3 ou 2 réseaux de cercles,
Si 2 — — 2, — 1 —
Si 3 — — 1, — 0 —

Soit l'équation : $f_1 + f_2 + f_3 = 0.$

Ses 3 degrés nomographiques sont égaux à 1, son ordre nomographique est 3 : donc, si la disjonction des variables est possible avec les fonctions $f_1\, f_2\, f_3$ (et nous verrons qu'elle l'est toujours), les abaques à points alignés seront formés de 3 droites.

Il en est de même pour $f_1 f_2 f_3 = 1,$

pour $f_1 + f_2 + f_1 f_2 = f_3,$

etc...

Soit l'équation $f_1 f_3 + f_2 \varphi_3 + \psi_3 = 0.$

Ses 3 degrés nomographiques sont égaux à 1 ; en détruisant l'homogénéité par rapport aux fonctions en α_3, on voit que l'ordre nomographique est 4 : donc, si la disjonction des variables est possible avec les fonctions $f_1 f_2 f_3 \varphi_3 \psi_3$ (et nous verrons qu'elle l'est), les abaques à points alignés seront formés de 2 droites et 1 courbe. C'est ce qui a lieu pour l'équation (E) des portées lumineuses (**37**).

Il en est de même pour :

$$F_{12} f_3 + \Phi_{12}\, \varphi_3 + \psi_3 = 0,$$

où F_{12} et Φ_{12} sont de la forme :

$$F_{12} = a\chi_1 + b\chi_2 + c,$$
$$\Phi_{12} = a'\chi_1 + b'\chi_2 + c'.$$

Considérons maintenant l'équation :

$$(m_1\chi_1 + n_1)(m_2\chi_2 + n_2)f_3 + (p_1\chi_1 + q_1)(p_2\chi_2 + q_2)\varphi_3 + (r_1\chi_1 + s_1)(r_2\chi_2 + s_2)\psi_3 = 0.$$

Elle est linéaire par rapport à chacune des fonctions $\chi_1\, \chi_2\, f_3\, \varphi_3\, \psi_3$, et d'ordre 4 par rapport à ces fonctions : donc, si la disjonction est possible avec elles, les abaques à points alignés seront formés de 2 droites et 1 courbe.

Mais cette disjonction n'est pas possible. Par contre, elle l'est avec les fonctions $(m_1\chi_1 + n_1)$, $(m_2\chi_2 + n_2)$ ... f_3, φ_3, ψ_3 : nous avons 3 degrés nomographiques égaux à 1, puis, en détruisant l'homogénéité, un ordre nomographique égal à 6 : donc les abaques à alignement de la proposée sont formés de 3 courbes.

46. — Plusieurs géomètres ont cherché quels sont les caractères des fonctions F_{123} auxquels on peut reconnaître que la disjonc-

tion est possible. Ce difficile problème n'a pas encore été résolu dans toute sa généralité; toutefois M. Duporcq, Ingénieur des Télégraphes (1), est parvenu à établir certaines équations fonctionnelles qui, si elles sont satisfaites, permettent d'affirmer la possibilité de la disjonction.

En raison des difficultés de cette opération, il y aurait un réel intérêt pratique à donner des règles pour l'effectuer : c'est ce que nous avons fait pour les équations générales à 3 variables d'ordre 3, et à 4 variables d'ordre 4. Pour les équations d'un ordre supérieur, on trouvera, dans la suite de ce travail, les déterminants générateurs de quelques formes types déjà connues, ou que nous avons nous-même rencontrées : ce sont d'ailleurs celles qui se présentent le plus fréquemment dans les applications. Si l'équation proposée ne rentre pas dans ces formes, nous conseillons d'essayer un changement de fonctions, qui peut permettre de faire disparaître certains termes et d'obtenir une forme connue.

Étudions donc les équations classées suivant leur ordre nomographique, les 3 degrés nomographiques étant 1, ce que nous supposerons toujours implicitement.

III. — Équations d'ordre 3.

a) *Théorie générale.*

47. — D'après la définition même de l'ordre nomographique, l'homogénéité étant détruite, les équations d'ordre 3 sont de la forme :

$$m\chi_1\chi_2\chi_3 + a_1\chi_2\chi_3 + a_2\chi_3\chi_1 + a_3\chi_1\chi_2 + b_1\chi_1 + b_2\chi_2 + b_3\chi_3 + n = 0.$$

Autrement dit, toute équation représentable par un abaque à entrecroisement à 3 réseaux de droites concourantes, ou par un abaque à alignement à 3 échelles rectilignes, est de la forme ci-dessus, mais toute équation de cette forme n'est pas nécessairement représentable par de tels abaques.

Nous avons donc à rechercher la condition de disjonction, et à indiquer un moyen pratique de l'opérer.

Avant de faire cette étude, nous allons démontrer le théorème fondamental qui suit :

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1898.

48. — DES DEUX FAMILLES Δ_c *et* Δ_t RELATIVES A L'ORDRE 3. — THÉORÈME : *Si la proposée est représentable par un abaque* D *à 3 réseaux de droites concourantes ou à 3 échelles rectilignes, elle l'est par une infinité d'abaques à alignement formant* deux *familles distinctes : l'une* $[\Delta_c]$ *dans laquelle les échelles sont concourantes; l'autre* $[\Delta_t]$, *dans laquelle les échelles sont en triangle. Corrélativement, les abaques à réseaux* (Δ_c) *et* (Δ_t) *appartiennent à* deux *familles.*

Ces deux familles comprennent d'ailleurs tous les abaques à réseaux de droites et tous les abaques à simple alignement susceptibles de représenter la proposée.

Il suffit d'établir la proposition en ce qui concerne les abaques à alignement; elle s'ensuit, par corrélation, pour les abaques à réseaux.

Nous savons déjà que la proposée est représentable par la famille $[\Delta]$ des abaques homographiques de [D]. Suivant que cet abaque [D] a ou n'a pas ses échelles concourantes, il en est de même de tous les abaques $[\Delta]$, qui constituent ainsi une famille $[\Delta_c]$ ou $[\Delta_t]$. Démontrons que la proposée est aussi représentable par une autre famille $[\Delta_t]$ ou $[\Delta_c]$.

1° Supposons les échelles concourantes, et, dans la famille $[\Delta_c]$, considérons l'abaque formé de 3 droites parallèles. En le rapportant à un système d'axes Ox, Oy dans lequel Oy est parallèle aux échelles, on obtient une équation de la forme :

$$\begin{matrix} [x] & [y] & [t] \end{matrix}$$
$$\begin{vmatrix} d_1 & \chi_1 & 1 \\ d_2 & \chi_2 & 1 \\ d_3 & \chi_3 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

qu'on peut écrire $\qquad f_1 + f_2 + f_3 = 0;$

L'anamorphose exponentielle de cette équation donne :

$$e^{f_1}e^{f_2}e^{f_3} = 1,$$

qui est représentable par une famille $[\Delta_t]$ à échelles non concourantes, ayant pour déterminant générateur par exemple :

$$\begin{vmatrix} e^{f_1} & 0 & 1 \\ 1 & e^{f_2} & 0 \\ 0 & 1 & -e^{f_3} \end{vmatrix} = 0.$$

2° Supposons les échelles non concourantes, et, dans la famille $[\Delta_t]$, considérons l'abaque qui a deux échelles parallèles. En

prenant comme axes deux des échelles $[\alpha_1]$ et $[\alpha_2]$ non parallèles, on obtient une équation de la forme :

$$\begin{array}{c} [x] \quad [y] \quad [t] \\ \left| \begin{array}{ccc} \chi_1 & 0 & 1 \\ 0 & \chi_2 & 1 \\ \chi_3 & d & 1 \end{array} \right| = 0, \end{array}$$

d'où
$$\chi_1 \cdot \frac{\chi_2 - d}{\chi_2} \cdot \frac{1}{\chi_3} = 1,$$

qu'on peut écrire : $f_1 f_2 f_3 = 1.$

L'anamorphose logarithmique de cette équation donne :

$$\log f_1 + \log f_2 + \log f_3 = 0,$$

qui est représentable par une famille $[\Delta_c]$ à échelles concourantes, ayant, entre autres, pour déterminant générateur :

$$\left| \begin{array}{ccc} \log f_1 & 1 & 0 \\ \log f_2 & 0 & 1 \\ -\log f_3 & 1 & 1 \end{array} \right| = 0.$$

Les deux familles $[\Delta_c]$ et $[\Delta_t]$ comprennent d'ailleurs tous les abaques à échelles rectilignes, car ces échelles sont forcément ou concourantes, ou en triangle.

Le théorème est donc démontré.

Remarque. — On voit que, pour passer d'une famille à l'autre, il faut ramener la proposée à l'une des formes :

$$f_1 f_2 f_3 = 1,$$
$$f_1 + f_2 + f_3 = 0,$$

puis passer d'une forme à l'autre par anamorphose logarithmique ou exponentielle.

Ces équations jouent donc un rôle important : nous leur avons donné le nom de *formes canoniques,* et nous aurons plus loin à en étudier tout spécialement la représentation.

49. — Méthode générale. — De ce qui précède, il résulte que l'étude complète de l'équation générale d'ordre 3 :

$$m\chi_1\chi_2\chi_3 + a_1\chi_2\chi_3 + a_2\chi_3\chi_1 + a_3\chi_1\chi_2 + b_1\chi_1 + b_2\chi_2 + b_3\chi_3 + n = 0.$$

consiste : 1° à donner une méthode de disjonction conduisant à un déterminant $D = 0$, qui engendre une des deux familles

Δ_c ou Δ_l; 2° à déduire du déterminant générateur D une des deux formes canoniques, ce qui permet de passer de la famille trouvée à l'autre famille. On obtiendra de la sorte tous les abaques à réseaux rectilignes ou à droites cotées susceptibles de représenter l'équation générale.

Tel est le problème que nous nous sommes proposé et que nous avons résolu comme suit :

50. — Disjonction par la transformée en X ; condition de disjonction. — La disjonction s'opère avec facilité en substituant aux fonctions χ_1, χ_2, χ_3 des fonctions X_1, X_2, X_3, telles que la transformée ne contienne pas les termes X_1X_2, X_2X_3, X_3X_1.

1° *L'équation générale contient un terme en* $\chi_1\chi_2\chi_3$. — La transformée s'obtient par le changement de fonctions :

$$\chi_n = X_n - \frac{a_n}{m},$$

d'où
$$X_1X_2X_3 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + N = o,$$

avec
$$B_1 = \frac{b_1}{m} - \frac{a_2}{m}\frac{a_3}{m},$$

$$N = 2\frac{a_1}{m}\frac{a_2}{m}\frac{a_3}{m} - \sum\frac{a_n}{m}\frac{b_n}{m} + \frac{n}{m}.$$

Pour qu'on puisse opérer la disjonction, il est visible que le déterminant doit être de la forme :

$$\begin{vmatrix} X_1 & \lambda_3 & \mu_2 \\ \mu_3 & X_2 & \lambda_1 \\ \lambda_2 & \mu_1 & X_3 \end{vmatrix} = o.$$

En identifiant, on obtient :

$$\left.\begin{aligned} \lambda_1\mu_1 &= -B_1 \\ \lambda_2\mu_2 &= -B_2 \\ \lambda_3\mu_3 &= -B_3 \\ \lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \mu_1\mu_2\mu_3 &= N. \end{aligned}\right\} \qquad (S)$$

Les 6 paramètres ne devant satisfaire qu'à ces 4 équations, il y en a 2 d'arbitraires, et il semble que la disjonction soit toujours possible. Mais, pour l'application qu'on a en vue, il est néces-

saire que les racines soient réelles. Or, si l'on considère les deux quantités $(\lambda_1\lambda_2\lambda_3)$, $(\mu_1\mu_2\mu_3)$, le simple examen des équations montre que leur somme et leur produit sont N et $-B_1B_2B_3$; elles sont donc racines de l'équation :

$$x^2 - Nx - B_1 B_2 B_3 = 0.$$

Pour que ces racines soient réelles, il faut qu'on ait :

$$\frac{N^2}{4} + B_1 B_2 B_3 > 0.$$

Remplaçant dans l'inégalité de condition $B_1B_2B_3N$ par leurs valeurs, nous obtenons :

$$(\Sigma a_1 b_1 - mn)^2 - 4(\Sigma a_1 b_1 a_2 b_2 - b_1 b_2 b_3 m - a_1 a_2 a_3 n) \geqslant 0.$$

2° *L'équation ne contient pas de terme en* $\chi_1\chi_2\chi_3$, *mais contient un terme constant.* — La considération des fonctions inverses de $\chi_1\chi_2\chi_3$ ramène au cas précédent, et l'on trouve la condition :

$$(\Sigma a_1 b_1)^2 - 4(\Sigma a_1 b_1 a_2 b_2 - a_1 a_2 a_3 n) > 0.$$

qui rentre dans la précédente, puisque $m = 0$.

3° *L'équation ne contient pas de terme en* $\chi_1\chi_2\chi_3$ *ni de terme constant.* — Sa forme est alors :

$$a_1\chi_2\chi_3 + a_2\chi_3\chi_1 + a_3\chi_1\chi_2 + b_1\chi_1 + b_2\chi_2 + b_3\chi_3 = 0.$$

L'un des coefficients au moins est différent de zéro. Supposons que ce soit un a, a_1 par exemple, et posons $Z_1 = \frac{1}{\chi_1}$; on a :

$$a_1 Z_1\chi_2\chi_3 + b_3\chi_3 Z_1 + b_2 Z_1\chi_2 + a_3\chi_2 + a_2\chi_3 + b_1 = 0.$$

On est ramené au premier cas, et la condition est :

$$(\Sigma a_1 b_1)^2 - 4\Sigma a_1 b_1 a_2 b_2 > 0.$$

qui rentre encore dans la condition précédente, puisque $m = 0$, $n = 0$.

Si, au lieu de supposer un a différent de zéro, on supposait un b, il suffirait de recourir aux fonctions inverses, et l'on aurait évidemment la même condition, puisque celle-ci est symétrique par rapport aux a et aux b.

En résumé, la condition générale pour qu'on ait des réseaux réels est donc :

$$(\Sigma a_1 b_1 - mn)^2 - 4(\Sigma a_1 b_1 a_2 b_2 - b_1 b_2 b_3 m - a_1 a_2 a_3 n) > 0.$$

Or le premier membre est le discriminant $\mathfrak{D}$ de la fonction F_{123}, de même que :

$$\frac{N^2}{4} + B_1B_2B_3 > o$$

est le discriminant de la transformée en X.

Donc : *avec* p = *3, la condition nécessaire et suffisante pour la disjonction est que le discriminant de l'équation générale, (ou que le discriminant de sa transformée en* X*), soit positif ou nul.*

On peut toujours alors mettre la proposée sous la forme :

$$E = \begin{vmatrix} X_1 & \lambda_3 & \mu_2 \\ \mu_3 & X_2 & \lambda_1 \\ \lambda_2 & \mu_1 & X_3 \end{vmatrix} = o.$$

où $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \mu_1, \mu_2, \mu_3$ sont une quelconque des solutions du système (S).

Parmi ces solutions, en nombre infini, puisque 2 des 6 paramètres sont arbitraires, nous en avons choisi une qui dispense précisément de résoudre le système (S); il suffit de résoudre l'équation :

$$x^2 - Nx - B_1B_2B_3 = o$$

dont les coefficients résultent immédiatement de la transformée en X, et dont les racines sont les deux quantités $(\lambda_1\lambda_2\lambda_3)$, $(\mu_1\mu_2\mu_3)$. Pour abréger, nous poserons :

$$\lambda_1\lambda_2\lambda_3 = \frac{N}{2} + \sqrt{\frac{N^2}{4} + B_1B_2B_3} = P + R,$$

$$\mu_1\mu_2\mu_3 = \frac{N}{2} - \sqrt{\frac{N^2}{4} + B_1B_2B_3} = P - R.$$

51. — *Cas de* $\mathfrak{D} > o$; *anamorphose logarithmique.* — Dans ce cas, on a $\lambda_1\lambda_2\lambda_3 - \mu_1\mu_2\mu_3 \neq o$, ce qu'on peut écrire :

$$e = \begin{vmatrix} o & -\mu_2 & \lambda_3 \\ \lambda_1 & o & -\mu_3 \\ -\mu_1 & \lambda_2 & o \end{vmatrix} \neq o.$$

On peut donc multiplier E par e, ce qui donne :

$$\begin{vmatrix} 0 & \lambda_1 X_1 - \mu_2\mu_3 & -\mu_1 X_1 + \lambda_2\lambda_3 \\ -\mu_2 X_2 + \lambda_3\lambda_1 & 0 & \lambda_2 X_2 - \mu_3\mu_1 \\ \lambda_3 X_3 - \mu_1\mu_2 & -\mu_3 X_3 + \lambda_1\lambda_2 & 0 \end{vmatrix} = 0,$$

d'où :

$$\frac{\lambda_1 X_1 - \mu_2\mu_3}{\mu_1 X_1 - \lambda_2\lambda_3} \cdot \frac{\lambda_2 X_2 - \mu_3\mu_1}{\mu_2 X_2 - \lambda_3\lambda_1} \cdot \frac{\lambda_3 X_3 - \mu_1\mu_2}{\mu_3 X_3 - \lambda_1\lambda_2} = 1.$$

Multiplions chacun des facteurs du premier membre par $\frac{\mu_1}{\lambda_1}, \frac{\mu_2}{\lambda_2}, \frac{\mu_3}{\lambda_3}$; nous obtenons facilement :

$$\prod \frac{B_n X_n + P - R}{B_n X_n + P + R} = \frac{P - R}{P + R} \qquad \text{(A)}$$

le signe $\prod$ désignant le produit de trois termes qui se déduisent par permutation circulaire de celui qui est écrit.

Telle est la forme canonique remarquable sous laquelle nous mettons la proposée dans le cas de $\mathfrak{D} > 0$; on peut l'écrire sans calculs dès qu'on a formé l'équation en X. Elle résout complètement le problème, puisque c'est une équation génératrice de la famille Δ_t, et qu'on peut en déduire la famille Δ_c par anamorphose logarithmique.

Si l'on ne se propose pas de recourir aux abaques de la seconde famille, qui contiennent des fonctions transcendantes de $\chi_1, \chi_1\, \chi_3$, et qu'on cherche seulement un déterminant générateur de la première famille pour y choisir un abaque convenable, on pourra prendre :

$$\begin{vmatrix} 0 & \dfrac{B_1X_1 + P - R}{-(P - R)} & \dfrac{B_1X_1 + P + R}{P + R} \\ B_2X_2 + P + R & 0 & B_2X_2 + P - R \\ B_3X_3 + P - R & B_3X_3 + P + R & 0 \end{vmatrix} = 0$$

qui résulte de la forme canonique (A).

52. — *Cas de $\mathfrak{D} = 0$; anamorphose exponentielle.* — Avec $\mathfrak{D} = 0$, on n'a pas le droit de multiplier E par e, qui est nul. D'ailleurs, on voit que la formule (A) n'a plus alors de signification, car elle devient une identité.

Mais E peut revêtir une autre forme, résultant de la nouvelle relation :

$$R = 0,$$

d'où :

$$\lambda_1\lambda_2\lambda_3 = \mu_1\mu_2\mu_3 = P.$$

1° Supposons $P \neq o$, ce qui implique que chacun des coefficients $B_1 B_2 B_3$ de l'équation en X est différent de zéro. Désignons par $|B_n|$ la valeur absolue de B_n, par ε_n la valeur ± 1 suivant que B_n est positif ou négatif. On peut prendre comme solution du système (S) :

$$\lambda_n = \sqrt{|B_n|}, \qquad \mu_n = -\varepsilon_n \sqrt{|B_n|}.$$

Par suite, $E = o$ devient :

$$\begin{vmatrix} X_1 & \sqrt{|B_3|} & -\varepsilon_2\sqrt{|B_2|} \\ -\varepsilon_3\sqrt{|B_3|} & X_2 & \sqrt{|B_1|} \\ \sqrt{|B_2|} & -\varepsilon_1\sqrt{|B_1|} & X_3 \end{vmatrix} = o.$$

Multiplions la n^e ligne par $\sqrt{|B_n|}$ et la n^e colonne par $\varepsilon_n\sqrt{|B_n|}$; nous obtenons :

$$\begin{vmatrix} B_1X_1 & \varepsilon_2 P & \varepsilon_1 P \\ \varepsilon_2 P & B_2X_2 & \varepsilon_3 P \\ \varepsilon_1 P & \varepsilon_3 P & B_3X_3 \end{vmatrix} = o.$$

En vérifiant que l'on retrouve bien ainsi l'équation en X, on remarque que, dans le développement, les termes en ε se présentent sous les seules formes ε_1^2, ε_2^2, ε_3^2, $(-\varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3)$, toutes égales à 1. On peut donc écrire plus simplement :

$$E' = \begin{vmatrix} -B_1X_1 & P & P \\ P & -B_2X_2 & P \\ P & P & -B_3X_3 \end{vmatrix} = o.$$

Telle est, pour le cas de $\mathfrak{D} = o$ avec $P \neq o$, la forme remarquable sous laquelle nous mettons l'équation en X. Ici encore on peut l'écrire sans calcul, dès qu'on a formé cette équation.

Il est alors facile d'obtenir la 2e famille. En effet, de E' on déduit :

$$\begin{vmatrix} \dfrac{B_1X_1}{P + B_1X_1} & 1 & 1 \\ \dfrac{P}{B_2X_2 + P} & 1 & o \\ \dfrac{P}{B_3X_3 + P} & o & 1 \end{vmatrix} = o,$$

d'où :

$$\frac{B_1X_1}{B_1X_1 + P} = \frac{P}{B_2X_2 + P} + \frac{P}{B_3X_3 + P}. \qquad \text{(B)}$$

Donc, au lieu de la forme canonique :

$$f_1 f_2 f_3 = 1,$$

obtenue quand on a $\mathfrak{D} > 0$, on trouve, avec $\mathfrak{D} = 0$, l'autre forme canonique :

$$f_1 + f_2 + f_3 = 0.$$

qui donne la famille Δ_c; on obtient la famille Δ_t par anamorphose exponentielle.

2° Supposons $P = 0$, d'où $B_1 B_2 B_3 = 0$. Pour que la proposée soit réellement une fonction de 3 variables, un seul des coefficients $B_1 B_2 B_3$ peut être nul, B_1 par exemple. L'équation en X est alors :

$$X_1X_2X_3 + B_2X_2 + B_3X_3 = 0,$$

d'où :

$$X_1 + \frac{B_3}{X_2} + \frac{B_2}{X_3} = 0. \qquad \text{(C)}$$

On retrouve la forme canonique précédente.

53. — Règle pratique. — En résumé, la méthode générale que nous venons de développer conduit à cette règle pratique, d'une application très simple :

Former, par les changements de fonctions indiqués, l'équation en X :

$$X_1X_2X_3 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + N = 0,$$

puis considérer les racines $P + R$ et $P - R$ de :

$$x^2 - Nx - B_1B_2B_3 = 0.$$

1° Si l'on a $R > 0$, la proposée se met sous la forme canonique

$$\prod \frac{B_nX_n + P - R}{B_nX_n + P + R} = \frac{P - R}{P + R}, \qquad \text{(A)}$$

qui donne la famille Δ_t, et d'où l'on peut déduire la famille Δ_c par anamorphose logarithmique.

En se tenant à la première famille, on a, entre autres, le déterminant générateur suivant, où X_1, X_2, X_3 sont des fonctions algébriques de χ_1, χ_2, χ_3 :

$$\begin{vmatrix} 0 & \dfrac{B_1X_1 + P - R}{-(P - R)} & \dfrac{B_1X_1 + P + R}{P + R} \\ B_2X_2 + P + R & 0 & B_2X_2 + P - R \\ B_3X_3 + P - R & B_3X_3 + P - R & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

2° Si l'on a $R = 0$, il y a deux cas à considérer. Pour $P \neq 0$, la proposée se met sous la forme canonique :

$$\frac{B_1X_1}{X_1B_1 + P} = \frac{P}{B_2X_2 + P} + \frac{P}{B_3X_3 + P}. \qquad \text{(B)}$$

Pour $P = o$, elle se met sous la forme canonique :

$$X_1 + \frac{B_3}{X_2} + \frac{B_2}{X_1} = o,$$

B_1 étant le coefficient qui est nul.

Ces deux formes donnent la famille Δ_c, d'où l'on peut déduire la famille Δ_t par anamorphose exponentielle.

En s'en tenant à la première famille, on a, pour $P \neq o$, le déterminant générateur suivant, où X_1, X_2, X_3 sont des fonctions algébriques de χ_1, χ_2, χ_3.

$$\begin{vmatrix} -B_1X_1 & P & P \\ P & -B_2X_2 & P \\ P & P & -B_3X_3 \end{vmatrix} = o.$$

Le problème que nous nous sommes proposé est ainsi complètement résolu (1).

(1) Des propositions qui précèdent résultent immédiatement ces deux théorèmes, que nous nous contentons d'énoncer :

Théorème d'algèbre. — *Tout polynôme :*

$$F(xyz) = mxyz + a_1yz + a_2zx + a_3xy + b_1x + b_2y + b_3z + n$$

peut être mis, si son discriminant est positif, sous la forme binôme :

$$(hx + l)(my + n)(pz + q) + (h'x + l')(m'y + n')(p'z + p'),$$

et, si son discriminant est nul, sous la forme trinôme :

$$(hx + l)(m'y + n')(p'z + q') + (h'x + l')(my + n)(p'z + q') + (h'x + l')(m'y + n')(pz + q).$$

Théorème de géométrie. — *Toute surface du troisième ordre* $F(xyz) = o$, *où* $F(xyz)$ *est le polynôme précédent, jouit des propriétés suivantes :*

Si $\mathfrak{D} > o$, *la surface passe par 6 droites qui déterminent un contour fermé sur un parallélipipède dont les côtés sont parallèles aux axes de coordonnées* (fig. a). *Ce contour est constitué par 6 des 12 côtés du parallélipipède, les 6 autres aboutissant à deux sommets opposés* A *et* B, *qui sont à distance finie quand aucune des trois quantités* $a_i a_j - mb_k$ $(i, j, k = 1, 2, 3)$ *n'est nulle. La surface contient alors 6 droites et 6 points doubles à distance finie. Elle contient, en outre, à l'infini, les 3 droites intersections des plans opposés du parallélipipède, et les 3 points doubles intersections des côtés opposés du contour.*

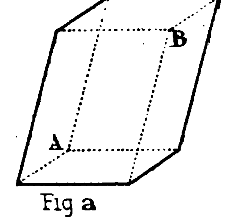


Fig a

Les 3 plans qui passent par l'un des sommets A *ou* B *sont toujours à distance finie, mais 1, 2 ou 3 des plans qui passent par l'autre sommet s'éloignent à l'infini, suivant que 1, 2 ou 3 des quantités* $a_i a_j - mb_k$ *sont nulles. S'éloignent alors à l'infini : dans le premier cas, 2 droites et 3 points doubles ; dans le deuxième cas, 4 droites et 5 points doubles ; dans le troisième cas, les 6 droites et les 6 points doubles.*

(Ce dernier cas est celui où la surface a une équation de la forme :

$$(hx + l)(my + n)(pz + y) = k.)$$

Si $\mathfrak{D} = o$, *la surface passe par 3 droites concourantes parallèles aux axes, qui sont des droites doubles. En effet, quand* $\mathfrak{D}$ *tend vers zéro, il en est de même de la diagonale* AB, *et, à la limite, les côtés opposés utiles du parallélipipède donnent des droites doubles.*

Pour $m = o$, *on a le cas connu de l'hyperboloïde : il est à une nappe avec* $\mathfrak{D} > o$, *et se réduit à un cône avec* $\mathfrak{D} = o$.

M. d'Ocagne avait énoncé et démontré ce dernier théorème d'une façon tout autre. Notre méthode donne immédiatement les équations des droites, et montre bien leur disposition.

54. — Il nous parait intéressant d'indiquer la part prise dans l'étude de l'équation d'ordre 3 par les différents ingénieurs qui s'en sont occupés.

Dès 1843, Lalanne (1) utilisa l'anamorphose logarithmique pour transformer en abaques à 3 réseaux rectilignes les abaques cartésiens de l'équation :

$$f_1 + f_2 + kf_1f_2 = f_3,$$

cas particulier de l'équation générale d'ordre 3. Dans son Mémoire à l'Académie des Sciences, il proposa de donner aux méthodes relatives à cette transformation le nom de Géométrie anamorphique.

Beaucoup plus tard, en 1886, M. Lallemand imagina de substituer aux abaques anamorphosés de Lalanne ses ingénieux abaques hexagonaux; il en déduisit, comme nous le verrons, la représentation de certaines équations à plus de 3 variables.

En 1884, M. Massau (2) indiqua la forme générale des équations à 3 variables représentables par des abaques à entrecroisement dont les 3 réseaux sont susceptibles d'anamorphose totale, c'est-à-dire peuvent être transformés en 3 réseaux de droites.

Peu après, M. d'Ocagne (3) transforma à leur tour ces 3 réseaux en 3 courbes cotées. En 1897, il étudia tout particulièrement (4) les abaques à 3 droites cotées, ce qui, d'après notre terminologie, correspond à l'ordre nomographique 3. Par une méthode toute différente de celle qui vient d'être exposée, il établit la condition de disjonction $\mathfrak{D} \geqslant 0$ en supposant $\chi_n = \alpha_n$, cas dans lequel il détermina, en outre, les conditions pour que 1, 2 ou 3 échelles de l'abaque puissent être rendues régulières. Ces conditions s'obtiennent facilement avec notre théorie; mais, comme l'hypothèse $\chi_n = \alpha_n$ est très particulière et que, d'ailleurs, la régularité des échelles ne s'obtient souvent qu'au détriment de la bonne disposition générale, nous n'avons pas cru devoir développer ici cette question secondaire.

M. d'Ocagne établit l'existence d'une des familles d'abaques homographiques Δ; et, comme il n'envisagea la transformation par anamorphose que pour les formes canoniques, il conclut que

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1846.

(2) *Intégration graphique*, dans les *Annales de l'Association des Ingénieurs des Écoles de Gand*, 1884.

(3) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1884.

(4) *Acta Mathematica*, 1897.

l'équation *générale* d'ordre 3 était représentable par des abaques à échelles concourantes pour $\mathfrak{D} = 0$, et par des abaques à échelles non concourantes pour $\mathfrak{D} > 0$.

Enfin, nous-même avons démontré qu'en réalité il existe *toujours*, pour $\mathfrak{D} \gtrless 0$, *deux* familles homographiques distinctes, l'une à échelles concourantes, l'autre à échelles non concourantes, qui comprennent tous les abaques à alignement par lesquels on peut représenter la proposée. En outre, nous avons institué, par la formation de l'équation en X, une méthode générale qui permet d'obtenir immédiatement ces deux familles.

55. — Dans la pratique, et notamment en Mécanique appliquée, l'équation d'ordre 3 est le plus souvent résolue par rapport à la fonction qui représente l'inconnue habituelle. Elle se présente alors sous la forme :

$$\frac{m\chi_1\chi_2 + a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + n}{M\chi_1\chi_2 + A_1\chi_1 + A_2\chi_2 + N} = \chi_3.$$

La condition de disjonction $\mathfrak{D} \gtrless$ peut s'écrire dans ce cas :

$$(mN - nM)^2 + (a_1A_2 - a_2A_1)^2 - 2(mN + nM)(a_1A_2 + a_2A_1)$$
$$+ 4(a_1a_2MN + A_1A_2mn) \gtrless 0.$$

Cette condition est toujours remplie, comme nous le savons, pour les formes canoniques, que nous écrirons, en dégageant la fonction f_3 de l'inconnue habituelle :

$$f_1 + f_2 = f_3, \qquad (a)$$

$$\frac{f_1}{f_2} = f_3. \qquad (b)$$

Elle l'est encore pour l'équation :

$$f_1 + f_2 + Kf_1f_2 = f_3, \qquad (c)$$

qui a conduit Lalanne à imaginer l'anamorphose logarithmique.

Elle est également remplie pour l'équation :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + n}{A_1\chi_1 + A_2\chi_2 + N} = \chi_3, \qquad (d)$$

et par suite, pour la suivante, qui s'en déduit par les fonctions inverses :

$$\frac{m\chi_1\chi_2 + a_1\chi_1 + a_2\chi_2}{M\chi_1\chi_2 + A_1\chi_1 + A_2\chi_2} = \chi_3.$$

En effet, la condition de disjonction est alors $(a_1A_2 - a_2A_1)^2 \geqslant 0$.

Pour la forme

$$\frac{a_1 z_1 + a_2 z_2}{M z_1 z_2 + N} = z_3, \qquad (e)$$

on trouve la condition :

$$a_1 a_2 MN \geqslant 0.$$

Les formes (*a*) (*b*) (*c*) (*d*) (*e*) sont celles qui se présentent le plus fréquemment dans la pratique. L'étude générale qui précède permet d'obtenir les deux familles d'abaques par lesquels ces équations peuvent être représentées; le problème est donc complètement résolu par l'application de notre méthode. Toutefois, il convient d'examiner plus spécialement certains de ces abaques, qui ont des propriétés intéressantes, s'obtiennent directement sans grands calculs, et donnent le plus souvent une représentation avantageuse de l'équation proposée.

b) Forme $f_1 + f_2 = f_3$.

56. — On peut prendre comme équations génératrices : pour la famille Δ_r

$$D_r = \begin{vmatrix} f_1 & 1 & 0 \\ f_2 & 0 & 1 \\ f_3 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

et pour la famille Δ_t

$$D_t = \begin{vmatrix} e^{f_1} & 0 & 1 \\ 1 & e^{f_2} & 0 \\ 0 & -e^{f_3} & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Ces deux équations donnent donc, sous forme explicite, *tous* les abaques à points alignés, et, corrélativement, *tous* les abaques à 3 réseaux de droites susceptibles de représenter la proposée.

Un certain nombre d'abaques Δ_r présentent des particularités remarquables, et méritent d'être spécialement étudiés : ce sont les abaques hexagonaux, les abaques à échelles parallèles, les abaques à échelles concourantes dont une est la bissectrice des

deux autres. Il serait bien facile de déterminer ces abaques et d'en établir les propriétés d'après l'équation $D_c = 0$. Nous avons préféré donner des démonstrations directes, en raison de leur simplicité.

Quant aux abaques Δ_t, les plus intéressants seront examinés lors de l'étude de la forme $\frac{f_1}{f_2} = f_3$.

57. — *Abaque hexagonal.* — L'abaque hexagonal résulte de l'abaque à 3 réseaux de droites parallèles :

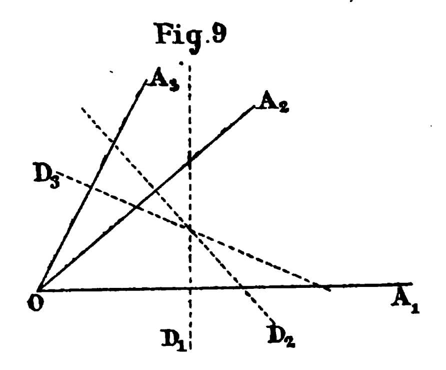
$$x = l_1 f_1, \qquad (\alpha_1)$$

$$y = l_2 f_2, \qquad (\alpha_2)$$

d'où

$$\frac{x}{l_1} + \frac{y}{l_2} = f_3. \qquad (\alpha_3)$$

Au lieu de tracer ces réseaux, il est plus simple de considérer, pour chacun d'eux, les perpendiculaires OA_1, OA_2, OA_3 passant par l'origine, et de les coter (*fig. 9*). L'emploi de l'abaque est alors le suivant :



On trace sur un transparent 3 droites *index* D_1 D_2 D_3 perpendiculaires à ces échelles. Si α_1 et α_2 sont les données et α_3 l'inconnue, on déplace le transparent sur l'abaque, de façon que les index D restent perpendiculaires aux échelles, et que, de plus, D_1 passe par le point coté α_1 sur l'échelle (α_1), D_2 passe par le point coté α_2 sur l'échelle (α_2) : le point α_3 où D_3 coupe l'échelle (α_3) donne la solution cherchée. En effet, par construction, les index occupent précisément la place de 3 droites concourantes de l'abaque à entrecroisement.

Les échelles sont :

$$u_1 = l_1 \sin \alpha \, f_1, \qquad [\alpha_1]$$

$$u_2 = l_2 \sin \alpha \, f_2, \qquad [\alpha_2]$$

$$u_3 = \frac{l_1 l_2 \sin \alpha \, f_3}{\sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2 l_1 l_2 \cos \alpha}}, \qquad [\alpha_3]$$

Or si l'on prend $l_1 = l_2 = 2l$ avec $\alpha = 60°$, elles se réduisent à :

$$u_1 = lf_1, \qquad [\alpha_1]$$
$$u_2 = lf_2, \qquad [\alpha_2]$$
$$u_3 = lf_3, \qquad [\alpha_3]$$

Les index D, prolongés de part et d'autre du point I, dessinent les diagonales d'un hexagone : d'où le nom d'*abaque hexagonal* donné par M. Lallemand à cette ingénieuse disposition.

En pratique, les échelles $A_1 A_2 A_3$ ne sont généralement pas concourantes, car on peut évidemment les déplacer parallèlement à elles-mêmes de façon que chacun de leurs points décrive une trajectoire orthogonale. On en profite pour bien disposer l'abaque. Les échelles dessinent alors un triangle équilatéral.

Remarque. — On voit que l'abaque hexagonal, bien que composé de 3 échelles cotées, appartient à la famille $[\Delta_c]$ d'abaques à entrecroisement, et non à la famille $[\Delta_t]$ d'abaques à échelles en triangle.

58. — Exemple. — *Corrections dynamiques de niveau (Abaque XIII).* — Dans les nivellements de haute précision, il faut faire subir à la différence de niveau D des corrections d_H, d_λ fonctions de l'altitude H et de la latitude λ ; elles sont fonrnies par les formules inscrites sur la légende de l'abaque, avec les unités à employer (1).

Les données permettent de déterminer immédiatement le signe des corrections ; il suffit donc d'en chercher la valeur absolue. L'anamorphose logarithmique de la première équation conduit à :

$$\log D + \log H + \log 0{,}0019 = \log |\, d_H \,|.$$

Pour traduire cette formule en abaque hexagonal, il faut construire les échelles :

$$u_1 = l \log 0, \qquad [D]$$
$$u_2 = l\,(\log H + \log 0{,}0019), \qquad [H]$$
$$u_3 = l \log |\, d_H \,|, \qquad [d_H]$$

De même, pour les corrections de latitude, on a les échelles :

$$u_1 = l \log D, \qquad [D]$$
$$u_2 = l\,(\log \cos 2\lambda + \log 26), \qquad [\lambda]$$
$$u_3 = l \log |\, d_\lambda \,|. \qquad [d_\lambda]$$

(1) Lallemand : *Nivellement de haute précision.*

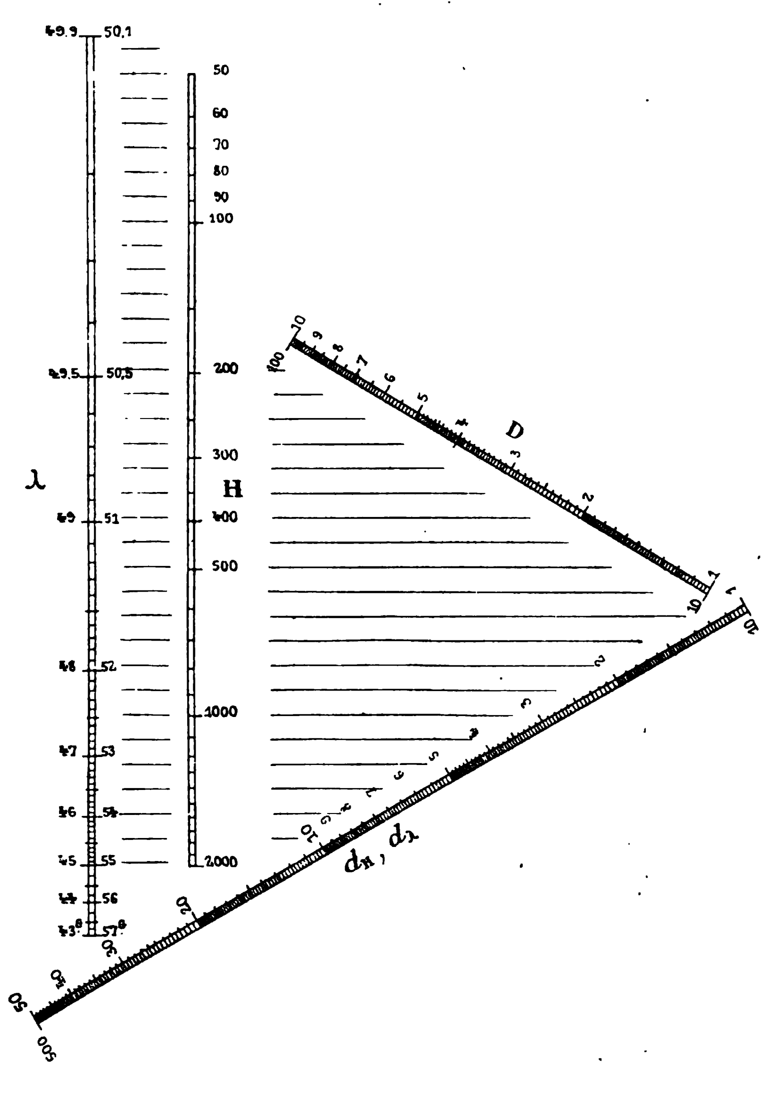
CORRECTIONS DYNAMIQUES DE NIVEAU

Formules :

$d_H = -0\,0019\,DH$

$d_\lambda = -26\,D\cos 2\lambda$

D Différence brute de niveau, en mètres
H Altitude moyenne, en mètres
d_H Correction de D due à H, en décimillimètres
λ Latitude moyenne, en grades
d_λ Correction de D due à λ, en décimillimètres



ABAQUE XIII

Ch. Lallemand

La valeur absolue de d_λ étant la même pour deux valeurs supplémentaires de λ, on ne fera varier λ que de o à $\frac{\pi}{2}$.

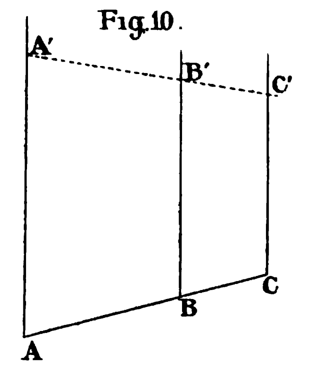
On obtient ainsi deux abaques hexagonaux. En superposant les échelles [D], qui sont identiques dans ces abaques, on a les valeurs des deux corrections sur une échelle commune.

Se basant sur les propriétés de l'échelle logarithmique (6), M. Lallemand a fractionné l'échelle [D] au point 10, et a fait coïncider les tronçons 1—10 et 10—100; de la sorte deux points quelconques α et 10 α viennent en coïncidence. Comme les corrections sont proportionnelles à D, il s'ensuit: 1° que les deuxièmes tronçons des échelles [d_H] et [d_λ] coïncident avec les premiers, tout point 10 β venant au point β; 2° que les échelles [H] et [λ] ne sont pas fractionnées.

Le même dispositif résulte aussi du principe des multiplicateurs correspondants. En effet, d'après les équations proposées, si d_H, D et H constituent une solution de la première, d_λ, D et λ une solution de la seconde, Kd_H, KD et H d'une part, Kd_λ, KD et λ d'autre part, sont aussi des solutions : en prenant $K = 10$, on obtient les doubles graduations auxquelles on avait été conduit par le fractionnement de [D].

La clef de l'abaque est la suivante :

On amène un des index D_1 du transparent à passer par la cote H, de façon que cet index soit parallèle au système de parallèles tracées dans le but de faciliter l'orientation du transparent; puis on fait glisser celui-ci suivant D_1 de façon que l'index D_2, perpendiculaire à l'échelle [D], passe par la cote D : l'index D_3 donne alors la valeur absolue de la correction d_H, à laquelle on attribue le signe convenable. On opère de même pour trouver d_λ.



59. — *Abaque à alignement à 3 supports parallèles.* — Sur 3 droites parallèles AA', BB', CC' *(fig. 10)*, et à partir du point de rencontre de ces droites avec une droite quelconque ABC, portons des longueurs :

$$u_1 = l_1 f_1,$$
$$u_2 = l_2 f_2,$$
$$u_3 = l_3 f_3.$$

Posons CA = a, CB = b. Pour que les points A'B'C' soient ali-

gnés, il faut qu'on ait la relation suivante, qui est évidente si l'on imagine qu'on rapporte ces points aux axes CA et CC' :

$$\begin{vmatrix} a & l_1 f_1 & 1 \\ b & l_2 f_2 & 1 \\ 0 & l_3 f_3 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Développons par rapport à la deuxième colonne et identifions avec :

$$f_1 + f_2 = f_3.$$

On obtient : $bl_1 = -al_2 = (b-a)l_3,$

d'où l'on tire aisément :

$$\frac{CA}{CB} = -\frac{l_1}{l_2}, \qquad (1)$$

$$\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} = \frac{1}{l_3}. \qquad (2)$$

Ainsi donc, ayant choisi arbitrairement les droites AA', BB', ABC d'une part, et les modules l_1, l_2 d'autre part, on trace la droite CC' d'après la relation (1), et l'on a les 3 échelles par les formules :

$$u_1 = l_1 f_1, \qquad [\alpha_1]$$

$$u_2 = l_2 f_2, \qquad [\alpha_2]$$

$$u_3 = l_3 f_3, \qquad [\alpha_3]$$

l_3 étant donné par l'équation (2).

Il y a lieu, pour l'application de ces formules, de bien déterminer la signification des signes : si $\frac{CA}{CB}$ a le signe +, c'est que l'échelle [C] se trouve à droite ou à gauche des échelles [A] et [B]; s'il a le signe —, c'est que [C] se trouve entre [A] et [B]; *l'échelle* u_3 *est donc entre* u_1 *et* u_2 *si* l_1 *et* l_2 *sont de même signe, et en dehors dans le cas contraire.*

Ayant choisi la position relative des échelles, et par suite les signes de l_1 et de l_2, de façon que l'échelle de l'inconnue habituelle soit entre les deux autres, il est facile de déterminer dans quel sens elles sont croissantes : supposant à x_1 une valeur constante, on voit si x_2 et x_3 varient ou non dans le même sens; puis on suppose à x_2 une valeur constante, et l'on fait de même pour x_3 et x_1.

Remarque. — Dans ce mode de représentation extrêmement simple, 2 sur 3 des modules sont arbitraires. Dans l'abaque hexagonal, au contraire, on ne dispose que de 1 module. Le mode de représentation par échelles parallèles donne donc une plus grande latitude pour l'établissement de l'abaque.

Remarque. — Considérons l'équation :

$$f_1 + f_2 = f_3 + \mathrm{K},$$

où K est une constante. L'échelle

$$u_3 = l_3 f_3,$$

par exemple, est remplacée par :

$$u_3 = l_3(f_3 + \mathrm{K}) = l_3 f_3 + \text{constante}.$$

L'abaque de la proposée a mêmes supports que l'abaque de l'équation :

$$f_1 + f_2 = f_3,$$

et les graduations des échelles sont les mêmes : mais l'une des échelles a glissé sur son support, de telle sorte que 3 cotes quelconques $\alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3$ qui constituent une solution soient en ligne droite.

On peut donc négliger la constante, en veillant seulement à ce que cette dernière condition soit remplie.

60. — Exemples : *1° Vitesse de perforation des plaques de blindage (Abaque XIV).* — Opérons l'anamorphose logarithmique de la formule Jacob de Marre, et utilisons la remarque relative aux constantes ; il nous suffit de considérer l'équation :

$$\log \mathrm{V} - 0{,}7 \log \varepsilon = \log \alpha,$$

Nous avons choisi : $u_1 = l \log \mathrm{V},$ [V]

$u_2 = -2l(-0{,}7 \log \varepsilon) = 1{,}4\, l \log \varepsilon,$ [ε]

d'où

$$\frac{\mathrm{CA}}{\mathrm{CB}} = \frac{1}{2}.$$

L'échelle [V] de l'inconnue habituelle se trouve ainsi entre [α] et [ε], à égale distance de chacune d'elles.

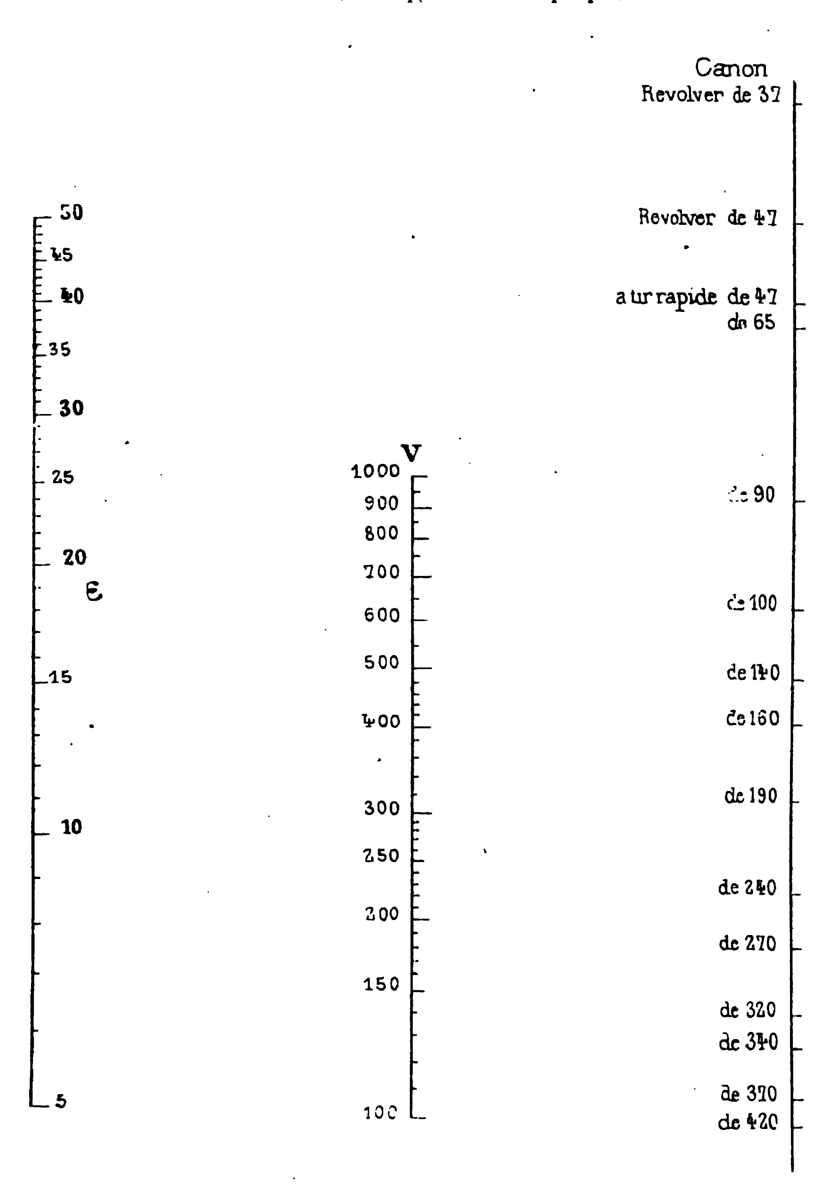
Les graduations des échelles [V] et [ε] sont croissantes dans la même direction ; l'échelle de ε est en centimètres.

VITESSE DE PERFORATION DES PLAQUES DE BLINDAGE

Formule Jacob de Marre

$$V = 1530 \frac{a^{0.75}}{p^{0.5}} \varepsilon^{0.7}$$

- V Vitesse du projectile, en mètres
- P Poids du projectile, en kilogr.
- a Diamètre du projectile, en décimètres
- ε Épaisseur de la plaque, en décimètres



ABAQUE XIV *R. Soreau*

Nous n'avons pas gradué [α] par rapport aux valeurs de α, qui n'ont aucune signification pratique ; mais, prenant l'alignement de points (V, ε) correspondant aux canons français, nous avons marqué sur [α] les points figuratifs de ces canons.

61. — *2° Diamètre des soupapes de sûreté des chaudières marines (Abaques XV et XVI).* — Dans la Marine, la formule :

$$D = 2,6 \sqrt{\frac{S}{p_0 + 0,588}} \qquad (1)$$

a été longtemps réglementaire ; D est le diamètre de l'orifice de la soupape en centimètres, S la surface de chauffe en mètres carrés, p_0 la pression de la vapeur en atmosphères. C'est la formule établie empiriquement par les Ingénieurs des Mines, où l'on a, par précaution, doublé le diamètre.

Comme la surface de chauffe des chaudières marines représente très mal la puissance de production de vapeur, les établissements d'Indret préfèrent évaluer D en fonction de la surface de grille G, ainsi que le prescrivent les règlements du *Board of Trade*. La formule d'Indret, établie par M. Brosser (1), est :

$$D = 0,242 \sqrt{\frac{G}{144,5\, p_1 + 175,61}}. \qquad (2)$$

D est ici obtenu en mètres, p_1 est la pression en kilogrammes par centimètre carré. M. Brosser a déduit la forme de cette expression de la relation donnée par Hugoniot pour le rendement des gaz suivant la théorie mécanique de la chaleur.

Formule (1). — On a les 3 échelles parallèles :

$$u_1 = l_1 \log S, \qquad [S]$$
$$u_2 = l_2 \log (p_0 + 0,588), \qquad [p_0]$$
$$u_3 = 2l_3 \log D. \qquad [D]$$

Pour placer, comme il convient, l'échelle de l'inconnue D entre [S] et [p_0], il faut que l_1 et l_2 soient de même signe. Nous avons pris :

$$l_1 = l_2 = 500\ mm,$$

de façon à obtenir des longueurs utiles à peu près égales quand

(1) L.-E. Bertin. *Les Chaudières marines*, cours professé à l'École d'Application du Génie maritime.

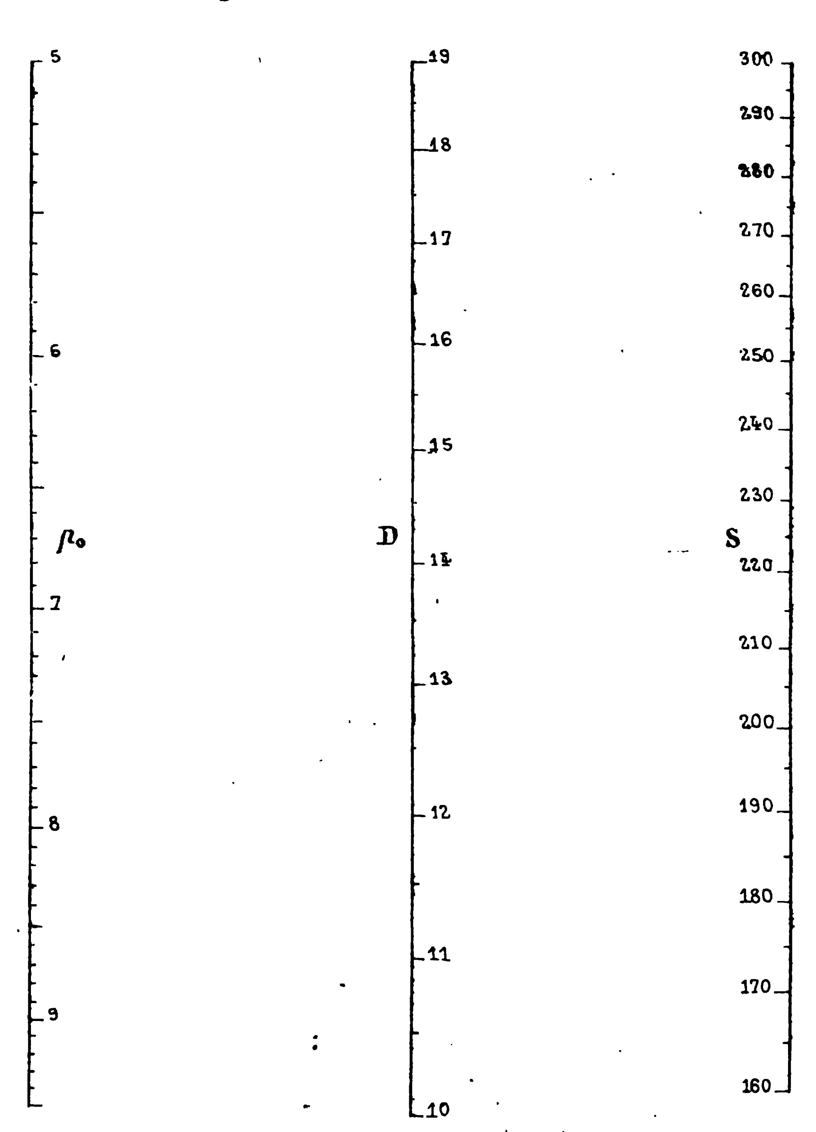
DIAMÈTRE DES SOUPAPES DE SURETÉ

des chaudières marines

Ancienne formule réglementaire :

$$D = 2{,}6\sqrt{\frac{S}{p_0 + 0{,}588}}$$

D Diam. de l'orifice, en c/m
S Surface de chauffe, en m²
p_0 Pression de la vapeur en atm.



ABAQUE XV

R. Soreau

S varie de 160 à 300 m^2, et p_0 de 5 à 10 *atm.* L'échelle [V] est alors à égale distance des deux autres, et a pour module :

$$2l_3 = 500.$$

Pour une valeur donnée de p_0, les variables D et S croissent dans le même sens; pour une valeur donnée de S, les variables D et p_0 croissent en sens contraire. Les échelles [D] et [S] croissent donc dans un sens, l'échelle $[p_0]$ dans l'autre.

On a tenu compte de la constante par l'alignement des points $S = 300\ m^2$, $p_0 = 5\ atm$, $D = 19\ mm$.

Formule (2). — Écrivons cette formule, par analogie avec la première :

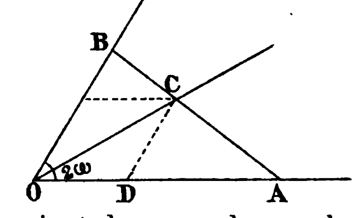
$$D = 0{,}02 \sqrt{\frac{G}{p_1 + 1{,}215}}.$$

En faisant varier G de 4 à 8 m^2, et p_1 de 7 à 14 *kg*, on peut prendre encore :

$$u_1 = 500 \log G,$$
$$u_2 = 500 \log (p_1 + 1{,}215),$$
$$u_3 = 500 \log D.$$

On a tenu compte de la constante par l'alignement des 3 points $G = 10$, $p_1 = 8{,}785$, $D = 2\ cm$.

62. — *Abaque à alignement à 3 supports concourants dont l'un est la bissectrice des deux autres.* — Supposons l'équation mise sous la forme :



$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f_3}.$$

Soit 2ω l'angle total AOB (*fig. 11*). Si l'on imagine que OA et OB soient des axes de coordonnées, on obtient de suite la relation :

$$\frac{OD}{OA} + \frac{CD}{OB} = 1.$$

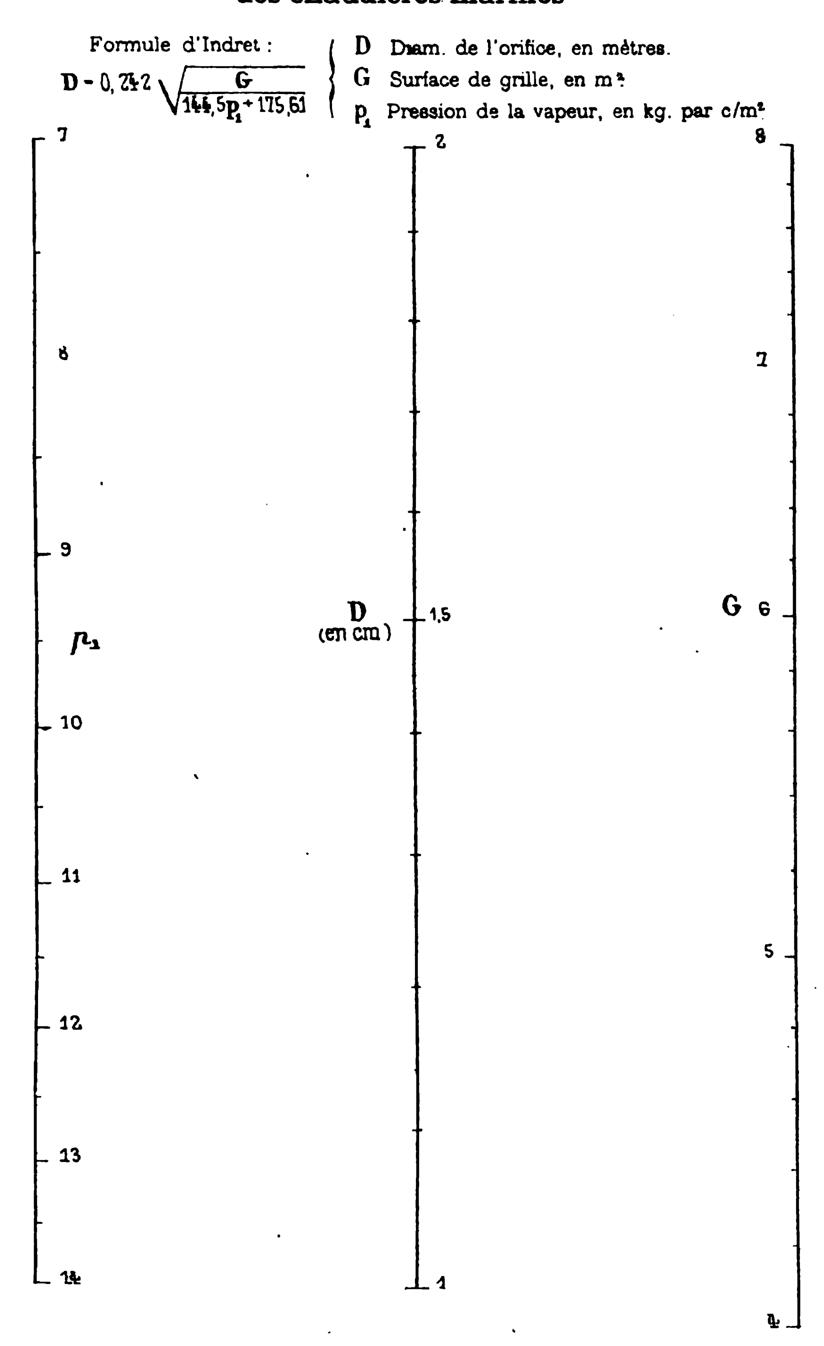
Or, dans le triangle isocèle OCD, on a :

$$OD = CD = \frac{OC}{2 \cos \omega}.$$

Donc $$\frac{1}{OA} + \frac{1}{OB} = \frac{2 \cos \omega}{OC}.$$

DIAMÈTRE DES SOUPAPES DE SURETÉ

des chaudières marines



ABAQUE XVI *R. Soreau*

Prenons : $x = OA = lf_1$, $[\alpha_1]$

$y = OB = lf_2$, $[\alpha_2]$

$z = OC = 2l \cos \omega f_3$. $[\alpha_3]$

Les 3 points alignés déterminés par ces échelles satisfont à l'équation proposée. Si l'on choisit $2\omega = 120°$ les modules des 3 échelles sont égaux.

Remarque. — Le capitaine Lafay (1) a observé que l'équation :

$$f_1 + f_2 = f_3,$$

peut être ramenée à la forme considérée d'une infinité de manières, car on peut l'écrire :

$$(h + Kf_1) + (h + Kf_2) = 2h + Kf_3,$$

d'où

$$\frac{1}{\frac{1}{h + Kf_1}} + \frac{1}{\frac{1}{h + Kf_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2h + Kf_3}}.$$

Cette transformation a son utilité si, entre les limites des variables, une ou plusieurs des fonctions $f_1\, f_2\, f_3$ varient de o à ∞ : alors, en effet, l'abaque à supports parallèles serait de dimensions infinies; au contraire, l'abaque à supports concourants qui vient d'être indiqué est de dimensions finies.

63. — Exemple : *Polarisation elliptique (Abaque XVII).* — Dans la théorie de la polarisation elliptique, on rencontre l'équation :

$$\sin \alpha_1 \sin \alpha_2 = \sin \alpha_3.$$

Écrivons-la :

$$\log \sin \alpha_1 + \log \sin \alpha_2 = \log \sin \alpha_3.$$

Or, quand un angle varie de o à 90°, son log sin varie de $-\infty$ à o. Le capitaine Lafay, a donc écrit cette équation :

$$\frac{1}{\frac{1}{h - K \log \sin \alpha_1}} + \frac{1}{\frac{1}{h - K \log \sin \alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2h - K \log \sin \alpha_3}}.$$

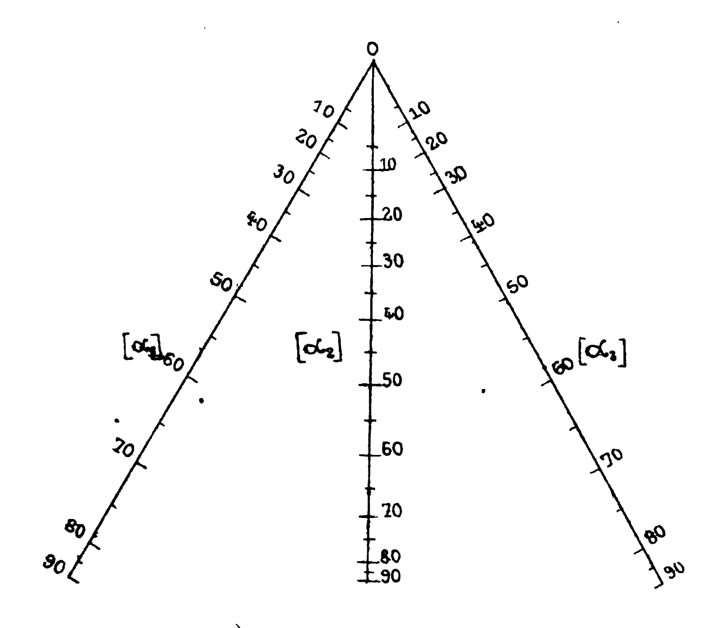
Posant :

$$x = \frac{l}{h - K \log \sin \alpha_1} \qquad y = \frac{l}{h - K \log \sin \alpha_2}.$$

(1) *Journal de Physique*, 1895.

POLARISATION ELLIPTIQUE

Formule $\sin\alpha_1 \sin\alpha_2 = \sin\alpha_3$



ABAQUE XVII

Cap. Lafay

il a obtenu 2 échelles identiques (z_2) et (z_1). Pour avoir l'échelle (z_3), qui est la bissectrice des deux premières, il suffit de remarquer que, pour $z_1 = 90°$, la proposée donne $z_2 = z_3$. L'échelle cherchée est donc la perspective de z_2 prise du point $z_1 = 90°$.

$$c)\ \textit{Forme}\ \frac{f_1}{f_2} = f_3.$$

64. — On peut prendre comme équations génératrices : pour la famille Δ_t

$$D_t = \begin{vmatrix} f_1 & 0 & 1 \\ f_2 & -1 & 0 \\ 0 & f_3 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

et pour la famille Δ_r

$$D_r = \begin{vmatrix} \log f_1 & 0 & 1 \\ \log f_2 & -1 & 0 \\ \log f_3 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Ces deux équations donnent *tous* les abaques à points alignés, et, corrélativement, *tous* les abaques à 3 réseaux de droites susceptibles de représenter la proposée.

Les abaques (Δ_r) comprennent en particulier l'abaque à 3 échelles parallèles qui résulte de l'équation

$$\log f_1 - \log f_2 = \log f_3.$$

Cet abaque offre une disposition généralement avantageuse ; comme nous l'avons vu par les derniers exemples, on y a souvent recours, surtout si les variables sont affectées d'exposants fractionnaires. Si, au contraire, plusieurs fonctions sont de la forme $f = lz$, il peut être préférable de ne pas recourir à l'anamorphose logarithmique, et de prendre un abaque où l'on ait les échelles régulières $u = lz$.

Il est un autre cas où il faut se garder de l'anamorphose logarithmique : c'est, comme nous le verrons plus loin, celui d'une équation à plus de 4 variables qui peut être remplacée, grâce à l'introduction d'une variable auxiliaire λ, par deux équations :

$$\frac{f_1}{f_2} = f_\lambda,$$

$$\varphi_{34\ldots\lambda} = 0.$$

Si l'équation $\varphi = o$ est représentable par un abaque où entre l'échelle régulière $u = l\lambda$, il convient de donner la même échelle à l'abaque de $\frac{f_1}{f_2} = f_\lambda$, ce que ne permettrait pas l'anamorphose. On peut ainsi accoler les deux abaques par cette échelle, ce qui dispense de la coter.

Il y a donc lieu de rechercher la représentation directe de l'équation $f_1 f_2 f_3 = 1$, sans anamorphose.

65. — *Abaque à entrecroisement à radiantes.* — Posons :

$$x = l_1 f_1, \qquad [\alpha_1]$$

$$y = l_2 f_2 \qquad [\alpha_2]$$

d'où

$$\frac{x}{l_1} = \frac{y}{l_2} f_3. \qquad [\alpha_3]$$

Ces équations représentent 2 réseaux de droites parallèles, de directions d'ailleurs quelconques, et 1 faisceau de radiantes.

66. — *Abaque à alignement en Z.* — Sur deux droites parallèles AA', BB' *(fig. 12)*, coupées par une droite quelconque AB, prenons *en sens inverse* des longueurs :

$$AA' = l_1 f_1,$$

$$BB' = l_2 f_2.$$

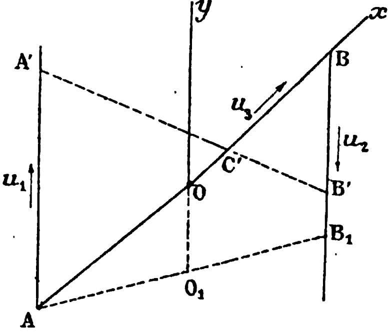


Fig.12.

Rapportons ces longueurs à des axes de coordonnées Ox confondu avec AB, Oy droite équidistante de AA' et de BB'. Puis, à partir de O, prenons des longueurs variables $OC' = x$ telles que les points A'B'C' soient en ligne droite. On a, en posant $AB = 2d$:

$$\frac{d + x}{d - x} = \frac{l_1 f_1}{l_2 f_2}.$$

Si f_1 et f_2 satisfont à la relation :

$$\frac{f_1}{f_2} = f_3,$$

on peut écrire :

$$\frac{d + x}{d - x} = \frac{l_1}{l_2} f_3,$$

d'où

$$x = d \frac{l_1 f_3 - l_2}{l_1 f_3 + l_2}.$$

Ainsi donc, l'équation proposée peut être représentée par un abaque formé des 3 échelles en Z :

$$u_1 = l_1 f_1, \text{ d'origine A, sens positif AA}',$$

$$u_2 = l_2 f_2, \quad — \quad \text{B}, \quad — \quad \text{BB}',$$

$$u_3 = d\frac{l_1 f_3 - l_2}{l_1 f_3 + l_2}, \quad — \quad \text{O}, \quad — \quad \text{vers } u_2.$$

Les points A et B sont arbitraires.

Remarque I. — On aurait trouvé immédiatement ces échelles en transformant l'abaque à entrecroisement du n° **65** en un abaque à points alignés par les formules de la Remarque II du n° **40**.

Remarque II. — Pour $f_3 = o$ on a $u_3 = -d$, et pour $f_3 = \infty$ on a $u_3 = d$. Donc, quand f_3 est positif, les cotes de u_3 sont comprises entre A et B. Il est alors très facile de limiter sensiblement l'abaque à un rectangle : pour cela on détermine l_1 et l_2 de façon que les longueurs utiles de u_1 et de u_2 soient égales, on arrondit les valeurs trouvées, on place les deux échelles en face l'une de l'autre, puis on joint la ligne des origines AB.

Pour simplifier le calcul des valeurs u_3, il est commode de prendre une droite auxiliaire AB', de longueur $2 \times 10^\alpha$, et de la coter avec :

$$u_3 = 10^\alpha \frac{l_1 f_3 - l_2}{l_1 f_3 + l_2}.$$

Il suffit ensuite de projeter cette droite auxiliaire sur AB. C'est ainsi que, dans la plupart des exemples ci-dessous, nous nous sommes servi d'une droite auxiliaire de 200 *mm*, en égard aux dimensions où les abaques ont été construits.

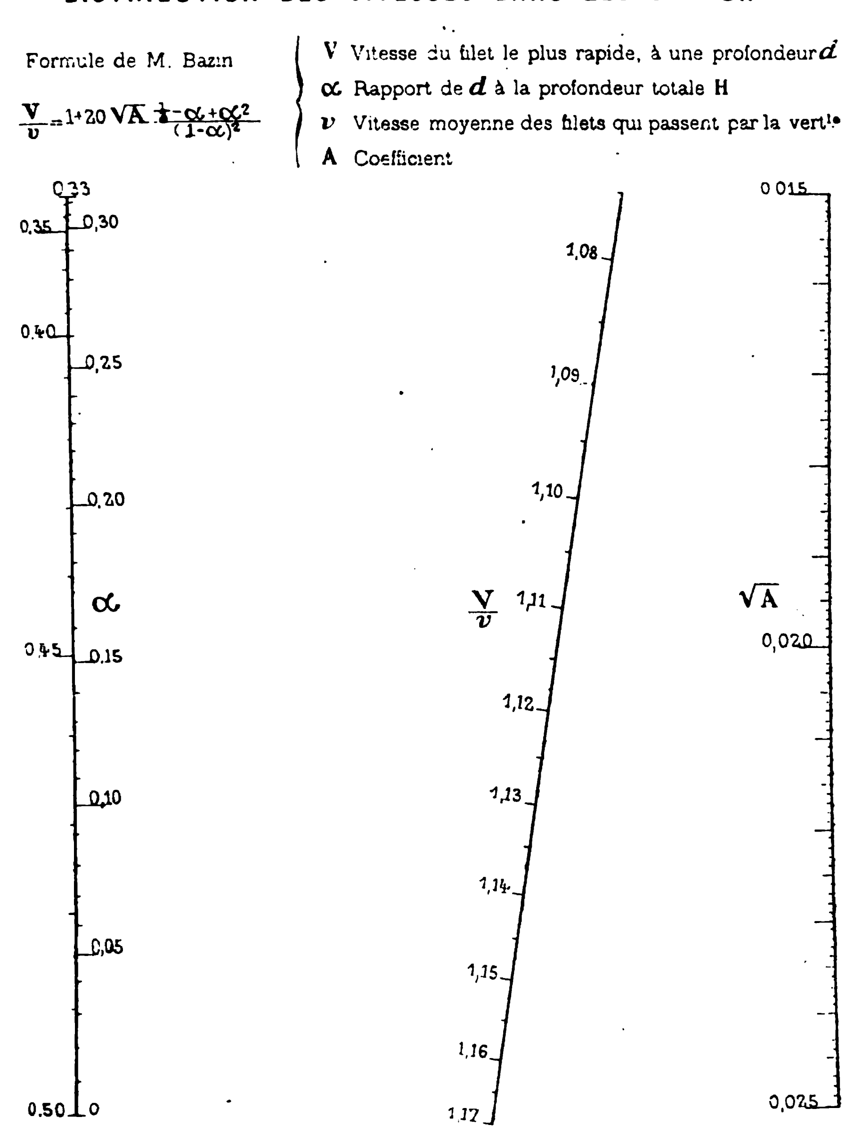
67. — EXEMPLES : 1° *Distribution des vitesses dans les canaux (Abaque XVIII).* — Soient :

H la profondeur du canal suivant une verticale quelconque;

v la vitesse moyenne des filets qui passent par cette verticale;

V la vitesse du filet le plus rapide, d la distance de ce filet au niveau ;

DISTRIBUTION DES VITESSES DANS LES CANAUX



ABAQUE XVIII *R. Soreau*

M. Bazin a indiqué (1) que le rapport $\frac{V}{v}$ peut se calculer par la formule :

$$\frac{V}{v} = 1 + 20\sqrt{A}\,\frac{\frac{1}{3} - \alpha + \alpha^2}{(1-\alpha)^2},$$

dans laquelle α est le rapport $\frac{d}{H}$, et $\sqrt{A}$ un coefficient connu $\frac{\sqrt{RI}}{v_1}$, où R désigne le rayon moyen, I la pente par mètre, v_1 la vitesse moyenne calculée pour toute l'étendue de la section transversale.

$\sqrt{A}$ peut varier de 0,015 à 0,025 environ, α de o à $\frac{1}{2}$.

On voit que, pour une valeur donnée de $\sqrt{A}$, $\frac{V}{v}$ passe par un minimum correspondant à $\alpha = \frac{1}{3}$, de sorte que $\frac{V}{v}$ a les mêmes valeurs pour $\alpha = \frac{1}{3} - \beta$, et $\alpha = \frac{1}{3} + \gamma$: les réseaux (α) ou la courbe $[\alpha]$ auront donc une double graduation, qui rebroussera à partir de la cote $\frac{1}{3}$.

Écrivons la formule :

$$\frac{(1-\alpha)^2}{\frac{1}{3} - \alpha + \alpha^2} = 20\sqrt{A}\,\frac{1}{\frac{V}{v} - 1}.$$

Comme $\frac{V}{v} - 1$ est toujours positif, l'abaque en Z à échelles parallèles $[\alpha]$ et $[A]$ peut être limité à un rectangle, l'échelle qui donne l'inconnue étant placée entre les deux autres. On a :

$$u_1 = l_1\,\frac{(1-\alpha)^2}{\frac{1}{3} - \alpha + \alpha^2}, \qquad [\alpha]$$

$$u_2 = 20\,l_2\sqrt{A}, \qquad [A]$$

$$u_3 = d\,\frac{l_1 - l_2\left(\frac{V}{v} - 1\right)}{l_1 + l_2\left(\frac{V}{v} - 1\right)}, \qquad \left[\frac{V}{v}\right]$$

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1875.

Donnons aux échelles parallèles la même longueur utile. Il suffit de prendre $l_2 = 5l_1$.

Si l'on choisit comme variable $\sqrt{A}$, l'échelle [A] est régulière. L'échelle [α] se gradue sans difficulté.

Quant à l'échelle $\left[\frac{V}{v}\right]$, remarquons (*fig. 13*) que, pour une valeur déterminée, d'ailleurs quelconque, de α, valeur figurée par un point I, on a :

$$\frac{V}{v} - 1 = K\sqrt{A},$$

d'où, en prenant les différentielles :

$$d\frac{V}{v} = K\,d\sqrt{A}.$$

Fig. 13

Donc, en joignant le point I aux points de l'échelle régulière [A], on obtient sur l'échelle $\left[\frac{V}{v}\right]$ des points dont les cotes croisent régulièrement.

Nous avons choisi comme point perspectif I le point $\frac{1}{3}$ du minimum ; en le joignant au point le plus haut 0,015 de l'échelle [A], on a le point le plus haut $\frac{V}{v} = 1{,}075$ de l'échelle $\frac{V}{v}$. Comme dans ce cas :

$$d\frac{V}{v} = 5\,d\sqrt{A},$$

et que, sur l'abaque, les accroissements de cotes de $\sqrt{A}$ sont de 0,001, les accroissements de cotes de $\frac{V}{v}$ seront de 0,005 : on a donc immédiatement la graduation cherchée.

Cette construction résulte aussi de celle que nous avons indiquée pour les échelles linéaires générales (**6**). En effet, remarquons que, pour $\frac{V}{v} - 1 = 0$, on a $u_3 = d$, c'est-à-dire le point M, et que, pour $\frac{V}{v} - 1 = \infty$, on a $u_3 = -d$, c'est-à-dire le point M'. L'échelle $\left[\frac{V}{v}\right]$, *dans laquelle on prend comme variable* $\frac{V}{v} - 1$, et

l'échelle régulière [A] ont donc même cote à leur intersection, et l'on peut déduire la première de la seconde par projection perspective. Si l'on joint les points ∞ des deux échelles, on a la droite [x], sur laquelle se trouve le point perspectif I, qu'il est commode, comme nous l'avons démontré, de prendre à la cote $\frac{1}{3}$, ce qui donne immédiatement des *cotes rondes* pour l'échelle $\left[\frac{V}{v} - 1\right]$, et par suite pour l'échelle $\frac{V}{v}$.

68. — *2° Courroies, cordes et bandes de frein (Abaque XIX).* — Dans les calculs des transmissions de mouvement par courroies et poulies, ainsi que dans les calculs de freins à cordes ou à lames, intervient la fonction $e^{f\theta}$, où e est la base des logarithmes naturels, f le coefficient de frottement des matières en contact, θ l'arc enveloppé sur la plus petite poulie. C'est ainsi que, pour la transmission par courroies et poulies, si T_1 est la tension du brin conducteur, T_2 la tension du brin conduit, P l'effort tangentiel en kilogrammes, N le travail transmis à la vitesse v, on a :

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{f\theta},$$

$$\frac{T_1}{P} = \frac{e^{f\theta}}{e^{f\theta} - 1},$$

$$\frac{T_1 + T_2}{P} = \frac{e^{f\theta} + 1}{e^{f\theta} - 1},$$

$$N = Kv\left(1 - \frac{1}{e^{f\theta}}\right).$$

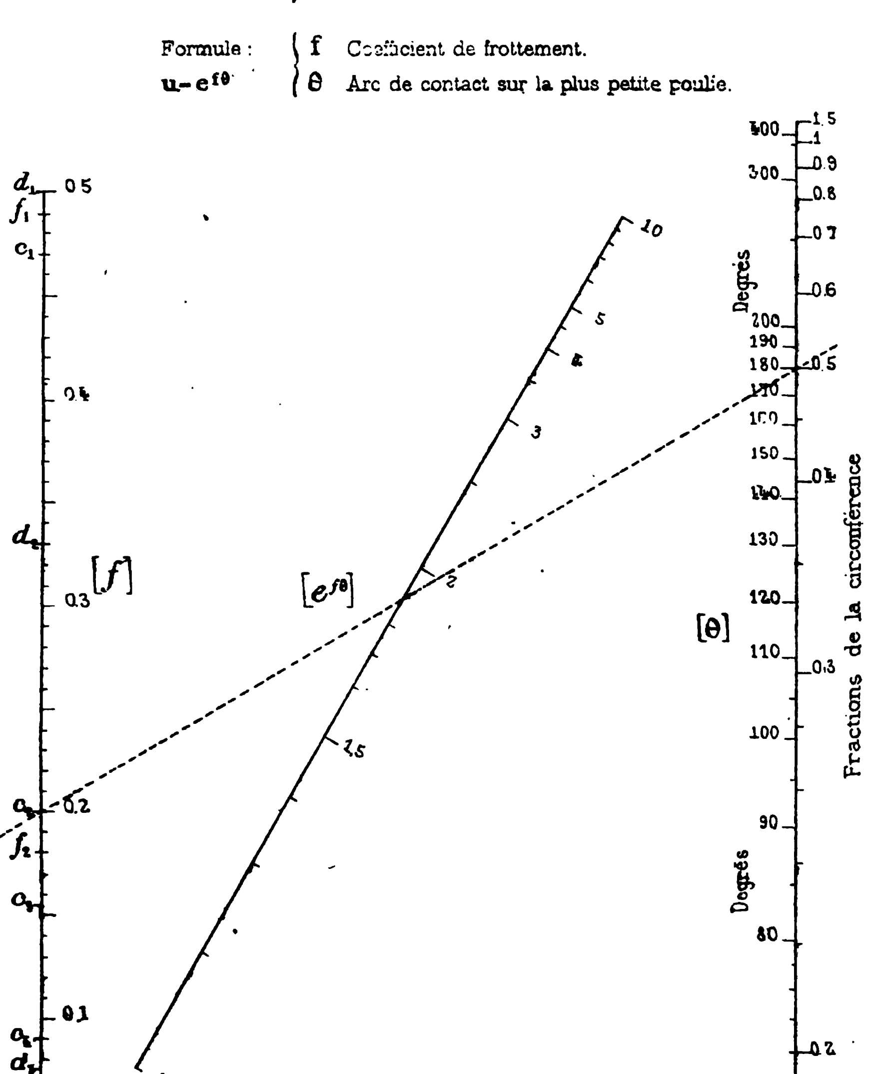
Les divers problèmes qu'on peut se proposer seront donc facilement résolus si l'on connaît la valeur de $e^{f\theta}$: aussi a-t-on dressé dans ce but des tables qu'on peut avantageusement remplacer par un abaque, car celui-ci permet d'obtenir immédiatement $e^{f\theta}$ pour une valeur quelconque de f, dans le cas où, pour tenir compte de circonstances particulières de l'état de la courroie ou de la poulie, on juge utile de modifier les valeurs ordinairement admises pour f.

COURROIES, CORDES ET BANDES DE FREIN

Formule : $u = e^{f\theta}$

f Coefficient de frottement.

θ Arc de contact sur la plus petite poulie.



ABAQUE XIX

R. Soreau

Ces valeurs sont les suivantes :

		f	Point correspondant sur l'abaque
Courroies	en cuir à l'état ordinaire, sur jante en bois . . .	0,47	c_1
	vieilles ou en caoutchouc, sur jante en fonte tournée.	0,2	c_2
	en cuir à l'état ordinaire id.	0,155	c_3
	très grasses . . . . . . id.	0,09	c_4
Cordes	en chanvre sur bois brut.	0,5	d_1
	— sur bois poli	0,33	d_2
	en coton sur fonte polie	0,075	d_3
Freins	à lames doublées en bois sur jante en fonte . . .	0,49	f_1
	à lames en fer id. . . .	0,18	f_2

En prenant les logarithmes vulgaires, et en exprimant θ en fonction de la circonférence, on a :

$$\log e^{f\theta} = 2{,}729\, f\theta,$$

que nous écrivons : $$2{,}729 f = \frac{1}{\theta} \log e^{f\theta}$$

de façon à avoir l'échelle $[e^{f\theta}]$, qui donne l'inconnue, entre les échelles $[f]$ et $[\theta]$. Ces échelles sont les suivantes :

$$u_1 = 2{,}729\, l_1 f, \qquad [f]$$

$$u_2 = \frac{l_2}{\theta}, \qquad [\theta]$$

$$u_3 = d\,\frac{l_1 \log e^{f\theta} - l_2}{l_1 \log e^{f\theta} + l_2}. \qquad [e^{f\theta}]$$

L'abaque XIX a été construit avec $l_1 = 100\ mm$, $l_2 = 30\ mm$, $d = 100\ mm$, de façon que les parties utiles soient sensiblement comprises dans un rectangle.

L'échelle $[f]$ est régulière. L'échelle linéaire $[e^{f\theta}]$ peut s'obtenir par une construction analogue à celle de l'abaque précédent. L'échelle $[\theta]$ peut se déduire de l'échelle $[f]$ en remarquant que, si l'on prend sur $[e^{f\theta}]$ le point défini par $\log e^{f\theta} = 0{,}2729$, on a $f\theta = 0{,}1$, ce qui fait correspondre un point θ à chaque point f.

Nous avons donné deux graduations à $[f]$: l'une où se trouvent les valeurs f, l'autre où sont marquées les valeurs usuelles indiquées au tableau ci-dessus. De même, nous avons donné deux graduations à l'échelle θ : l'une en fractions de la circonférence et l'autre en degrés.

L'alignement en pointillé correspond à $f = 0,2$, $\theta = 0,5$ ou $180°$; à la petite échelle de l'abaque, on lit facilement $e^{f\theta} = 1,9$: le calcul donnerait 1,87.

69. — *3° Épaisseur des tuyaux et cylindres soumis à de fortes pressions intérieures (Abaque XX).* — On emploie, en général, la formule de Lamé (1). Soit m le rapport entre l'épaisseur et le rayon intérieur :

$$m = \sqrt{\frac{R+p}{R-p}} - 1,$$

R est le maximum de tension de la matière dans la paroi du tuyau, p la pression intérieure; l'une et l'autre sont exprimées avec les mêmes unités. Sur l'abaque XX, les cotes indiquent des kilogrammes par millimètre carré.

La formule peut s'écrire :

$$\frac{R}{p} = \frac{(1+m)^2+1}{(1+m)^2-1}.$$

Nous faisons varier R entre 2 et 20, p entre 0,8 et 1,8 : la grandeur des variations étant à peu près la même, nous obtiendrons sensiblement la même longueur des échelles parallèles en leur donnant des modules égaux, d'où :

$$u_1 = lR, \qquad [R]$$

$$u_2 = lp \qquad [p]$$

$$u_3 = d\,\frac{\dfrac{(1+m)^2+1}{(1+m)^2-1} - 1}{\dfrac{(1+m)^2+1}{(1+m)^2-1} + 1} = d\,\frac{1}{(1+m)^2}. \qquad [m]$$

L'alignement en pointillé correspond à $R = 10\ kg$, $P = 2\ kg$, d'où $m = 0,225$.

(1) Dans le *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils* (octobre 1888), notre Collègue M. Barbet donne, pour la fonte, la formule :

$$m = \sqrt{\frac{R + \frac{p}{2}}{R - \frac{5p}{4}}} - 1,$$

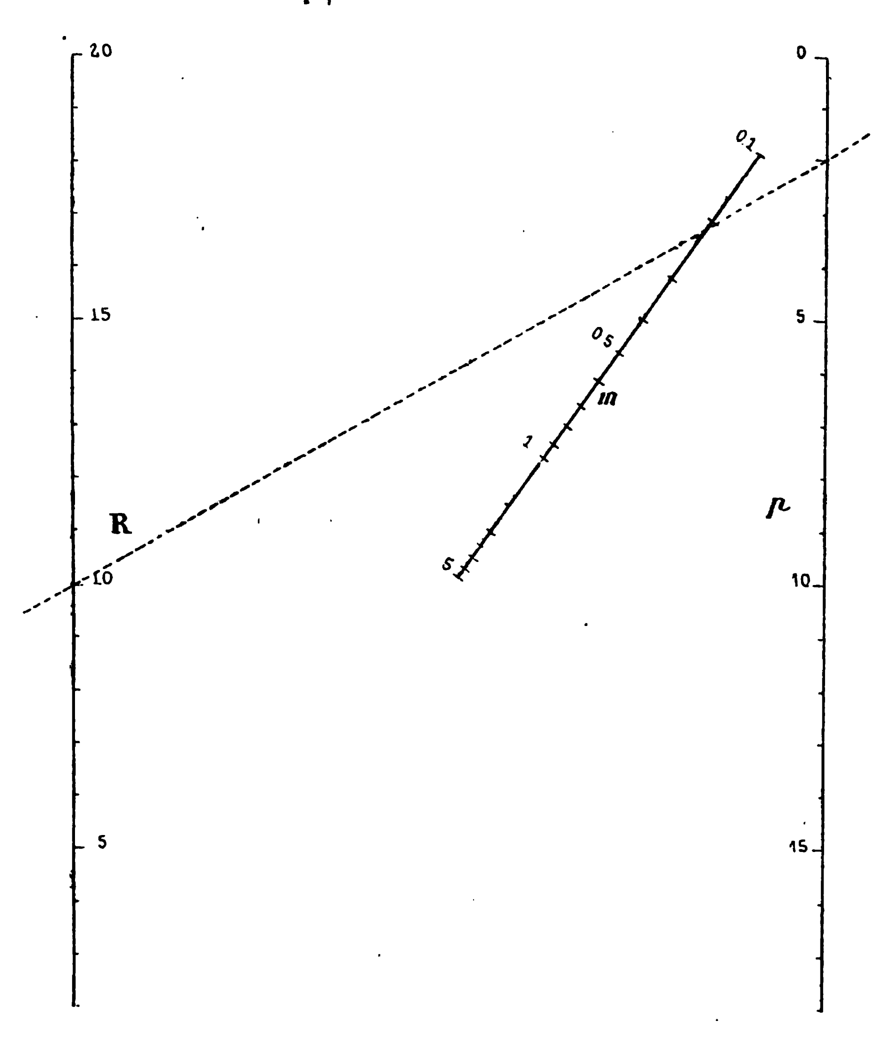
qu'on peut représenter par un abaque analogue.

ÉPAISSEUR DES TUYAUX ET CYLINDRES
soumis à de fortes pressions

Formule de Lamé :

$$m = \sqrt{\frac{R+p}{R-p}} - 1$$

- m , Rapport entre l'épaisseur et le rayon intérieur.
- R , Maximum de tension de la matière, en kg. par m/m²
- p , Pression intérieure ——— id. ——— id. ———



ABAQUE XX

R. Soreau

70. — *4° Résistance des colonnes cylindriques (Abaque XXI).* — Les formules de Love sont, pour les colonnes en fonte :

$$P = \frac{982\, d^2}{1,45 + 0,00337 \left(\frac{h}{d}\right)^2},$$

et, pour les colonnes en fer :

$$P = \frac{471\, d^2}{1,55 + 0,0005 \left(\frac{h}{d}\right)^2}.$$

Ces formules ont la signification et sont exprimées avec les unités indiquées sur l'abaque, construit pour le cas des colonnes en fonte. Elles peuvent servir aux colonnes creuses, pour lesquelles on calculera successivement P et P_1 correspondant au diamètre extérieur d et au diamètre intérieur d_1, d'où la différence $P - P_1$.

Plaçant, comme il convient, l'échelle [P] entre les échelles $[d]$ et $\left[\frac{h}{d}\right]$, on a :

$$u_1 = 471\, l_1 d^2, \qquad [d]$$

$$u_2 = l_2 P, \qquad [P]$$

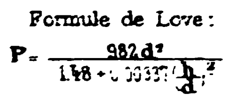
$$u_3 = \delta \frac{l_1 \left(\frac{h}{d}\right)^2 - l_2}{l_1 \left(\frac{h}{d}\right)^2 + l_2}. \qquad \left[\frac{h}{d}\right]$$

Remarquant que, si $\left(P, d, \frac{h}{d}\right)$ est solution, $\left(\lambda^2 P, \lambda d, \frac{d}{h}\right)$ l'est aussi, on voit qu'il suffit de faire varier d de 1 à 5 : avec le multiplicateur 2, on a les variations de 5 à 10, et, avec le multiplicateur 10, les variations de 10 à 50. Il faut alors multiplier la valeur lue pour P par 4 ou par 100.

Soit, par exemple, $\frac{h}{d} = 40$, $d = 30$ *cm*; divisant par 10, on a $d = 3$, et l'abaque donne $P = 1\,275$ *kg*, d'où la charge pratique **127,5** *t*.

RÉSISTANCE DES COLONNES CYLINDRIQUES EN FONTE

Formule de Love :



P, Charge pratique, en kg.
d, Diamètre de la colonne, en c/m.
$\frac{h}{d}$, Rapport de la hauteur au diamètre.

d: 1, 2, 3, 4, 5

P: 100, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 10000

$\frac{h}{d}$: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80

ABAQUE XXI — *R. Soreau*

d) Forme $f_1 + f_2 + Kf_1f_2 = f_3$.

71. — *Abaque à 3 réseaux rectilignes.* — C'est l'abaque de Lalanne, qui opérait comme suit :

L'abaque cartésien a pour réseaux :

$$x = l_1 f_1 \qquad (\alpha_1)$$

$$y = l_2 f_2 \qquad (\alpha_2)$$

$$\frac{x}{l_1} + \frac{y}{l_2} + K\frac{x}{l_1}\frac{y}{l_2} = f_3. \qquad (\alpha_3)$$

Pour remplacer le réseau d'hyperboles (α_3) par un réseau de droites, Lalanne posait :

$$f_1 = \varphi_1 - \frac{1}{K},$$

$$f_2 = \varphi_2 - \frac{1}{K}.$$

d'où :

$$\varphi_1\varphi_2 = \frac{f_3}{K} + \frac{1}{K^2}.$$

En opérant l'anamorphose logarithmique, il obtenait :

$$\log \varphi_1 + \log \varphi_2 = \log\left(\frac{f_3}{K} + \frac{1}{K^2}\right), \qquad (A)$$

d'où les 3 réseaux rectilignes :

$$x = l_1 \log\left(f_1 + \frac{1}{K}\right), \qquad (\alpha_1)$$

$$y = l_2 \log\left(f_2 + \frac{1}{K}\right), \qquad (\alpha_2)$$

$$\frac{x}{l_1} + \frac{y}{l_2} = \log\frac{1}{K}\left(f_3 + \frac{1}{K}\right). \qquad (\alpha_3)$$

72. — *Familles Δ_c et Δ_t; abaque à 3 échelles parallèles.* — En réalité, il y a, pour représenter la proposée, une infinité d'abaques à entrecroisement formés de 3 réseaux rectilignes, et d'abaques à alignement formés de 3 droites. Ces abaques appartiennent à deux familles dont les équations génératrices sont, pour la famille Δ_t :

$$\begin{vmatrix} f_1 & -1 & 0 \\ f_2 & Kf_2 & 1 \\ f_3 & -1 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

qui résulte immédiatement de la proposée, et, pour la famille Δ_r :

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & \log\left(f_1 + \frac{1}{K}\right) \\ 0 & 1 & \log\left(f_2 + \frac{1}{K}\right) \\ 1 & 1 & \log\frac{1}{K}\left(f_3 + \frac{1}{K}\right) \end{vmatrix} = 0$$

qui résulte de l'anamorphose opérée par Lalanne. Parmi ces derniers, un des abaques les plus avantageux est l'abaque à 3 échelles parallèles, qui résulte immédiatement de l'équation (A).

73. — EXEMPLE : *Poids dans les nivellements des points trigonométriques (Abaques XXII et XXIII).* — Dans les nivellements de précision, il convient d'apprécier la valeur relative de chaque observation par une cote d'influence ou *poids*, qui est inversement proportionnelle à l'erreur systématique qu'on a pu commettre.

Dans ses travaux relatifs à la carte du massif du Mont Blanc, notre Collègue M. H. Vallot (1) a pris, comme valeur des poids P des nivellements trigonométriques :

$$P = \frac{10}{E},$$

avec

$$E = D + \frac{G}{10} + \frac{DG}{100} + 2;$$

E est l'erreur systématique, D la distance en *km*, G l'inclinaison en grades.

Posant, d'après la méthode de Lalanne :

$$\frac{D}{10} = x' - 1, \qquad \frac{G}{10} = y' - 10,$$

il a obtenu :

$$x'y' = E + 8,$$

d'où

$$\log\left(1 + \frac{D}{10}\right) + \log\left(10 + \frac{G}{10}\right) = \log\left(8 + \frac{10}{P}\right).$$

(1) *Annales de l'Observatoire météorologique du Mont Blanc* (t. III, 1898).

1° On en déduit les 3 réseaux rectilignes figurés sur l'abaque XII, construit par notre Collègue.

2° A cet abaque à réseaux, il est facile de substituer un abaque à points alignés à 3 échelles parallèles, tel que celui que nous avons construit en XXIII, et dont les échelles résultent de suite de l'équation précédente.

Pour que les échelles [D] et [G] aient sensiblement la même longueur, quand D varie de 0 à 20 *km*, et G de 0 à 40 grades, on est conduit à poser :

$$l_G = 3l_D.$$

D'autre part, pour que l'échelle [P], qui donne l'inconnue, soit entre les deux autres, il faut que l_G et l_D aient le même signe. Nous avons pris :

$$l_G = 300\ mm, \qquad l_D = 900\ mm, \qquad l = 225\ mm.$$

Les origines des échelles ont été fixées par l'alignement des points D = o, G = o, P = 5.

La position de l'index en pointillé correspond aux données D = 10, G = 40; on obtient P = 0,5.

$$d)\ \textit{Forme}\ \frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{A_1\chi_1 + A_2\chi_2 + B} = \chi_3.$$

74. — Cette forme est très intéressante pour diverses raisons :

1° Elle comprend les trois formes que nous venons d'examiner :

$$f_1 + f_2 = f_3$$

$$\frac{f_1}{f_2} = f_3$$

$$f_1 + f_2 + Kf_1f_2 = f_3.$$

2° Elle est elle-même un cas particulier d'une équation très importante d'ordre 5, à savoir :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{A_1X_1 + A_2X_2 + B} = \chi_3 \qquad \text{(A)}$$

dont la disjonction s'opère aisément sous une forme facile à retenir. En effet, on a immédiatement :

$$\begin{vmatrix} a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b & A_1X_1 + A_2X_2 + B \\ \chi_3 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

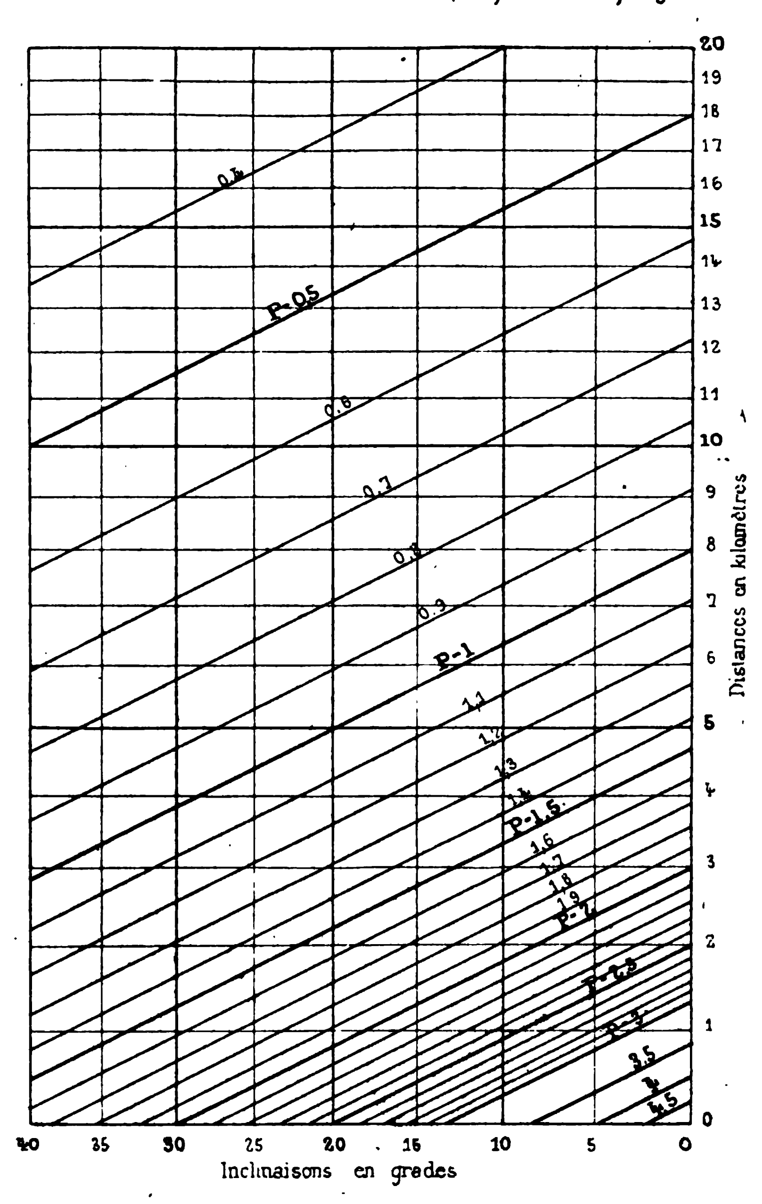
POIDS DANS LES NIVELLEMENTS

DES POINTS TRIGONOMÉTRIQUES

Formule approchée de M. H. Vallot

$$\frac{10}{P} = D + \frac{G}{10} + \frac{DG}{100} + 2$$

P, poids
D, distance, en Km
G, inclinaison, en grades



ABAQUE XXII *H. Vallot*

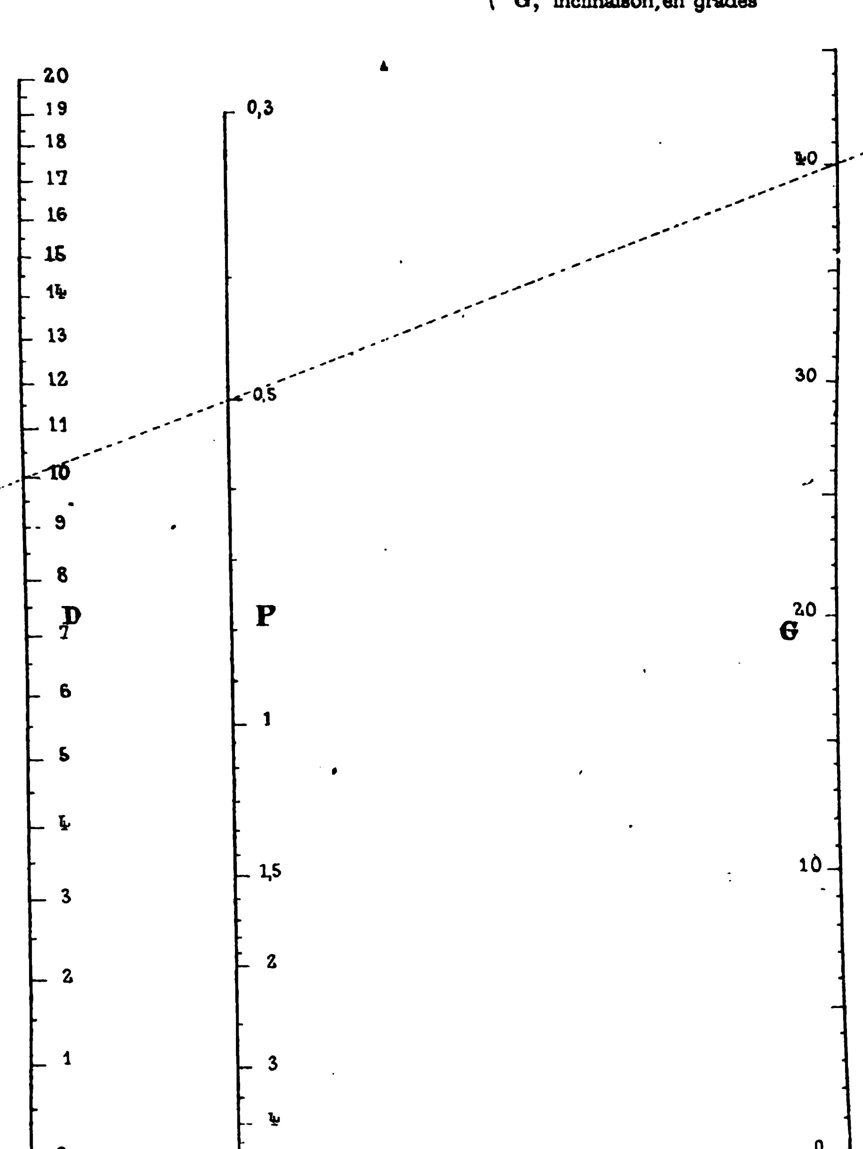
POIDS DANS LES NIVELLEMENTS

DES POINTS TRIGONOMÉTRIQUES.

Formule approchée de M. H. Vallot

$$\frac{10}{P} = D + \frac{G}{10} + \frac{DG}{100} + 2$$

P, poids
D, distance, en Km
G, inclinaison, en grades



ABAQUE XXII

R. Soreau

On en déduit l'équation génératrice :

$$\begin{vmatrix} a_1\chi_1 & A_1X_1 & 1 \\ a_2\chi_2 + b & A_2X_2 + B & -1 \\ \chi_3 & 1 & 0 \end{vmatrix} = 0,$$

d'où toute une classe d'équations, d'ordre 3 si X_1 et X_2 sont des constantes ou sont des fonctions linéaires la première de χ_1, la seconde de χ_2; d'ordre 4 si cette condition n'est remplie que pour l'une des fonctions X_1, X_2; d'ordre 5 si elle n'est remplie pour aucune de ces fonctions.

L'équation (A), que nous avons rencontrée au cours de nos recherches, joue donc un rôle très utile dans les abaques à points alignés *d'ordre quelconque.* Nous la retrouverons sous une forme encore plus générale, dans nos développements sur l'alignement double.

IV. — Équations d'ordre 4.

75. — Les abaques à points alignés, s'ils existent, sont alors composés de 2 échelles rectilignes et de 1 échelle curviligne. Nous avons déjà vu un exemple d'un pareil abaque avec la formule des portées lumineuses **(39)**.

L'homogénéité étant détruite, la forme la plus générale de l'équation est :

$$M\chi_1\chi_2\chi_3 + M'\chi_1\chi_2\zeta_3 + A_1\chi_2\chi_3 + A_1'\chi_2\zeta_3 + A_2\chi_3\chi_1 + A_2'\zeta_3\chi_1$$
$$+ A_3\chi_1\chi_2 + B_1\chi_1 + B_2\chi_2 + B_3\chi_3 + B_3'\zeta_3 + N = 0.$$

La recherche des conditions nécessaires et suffisantes pour que la disjonction soit possible, recherche qui a abouti à $\mathfrak{D} > 0$ pour $p = 3$, constitue, pour $p = 4$, un problème difficile, qui n'a pas été résolu jusqu'ici.

Nous nous bornerons à conseiller encore la méthode des changements de fonctions, de façon à essayer de ramener la proposée à l'une des formes pour lesquelles on sait opérer la disjonction.

Parmi ces formes, nous rappelons la suivante :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{A_1X_1 + A_2X_2 + B} = \chi_3,$$

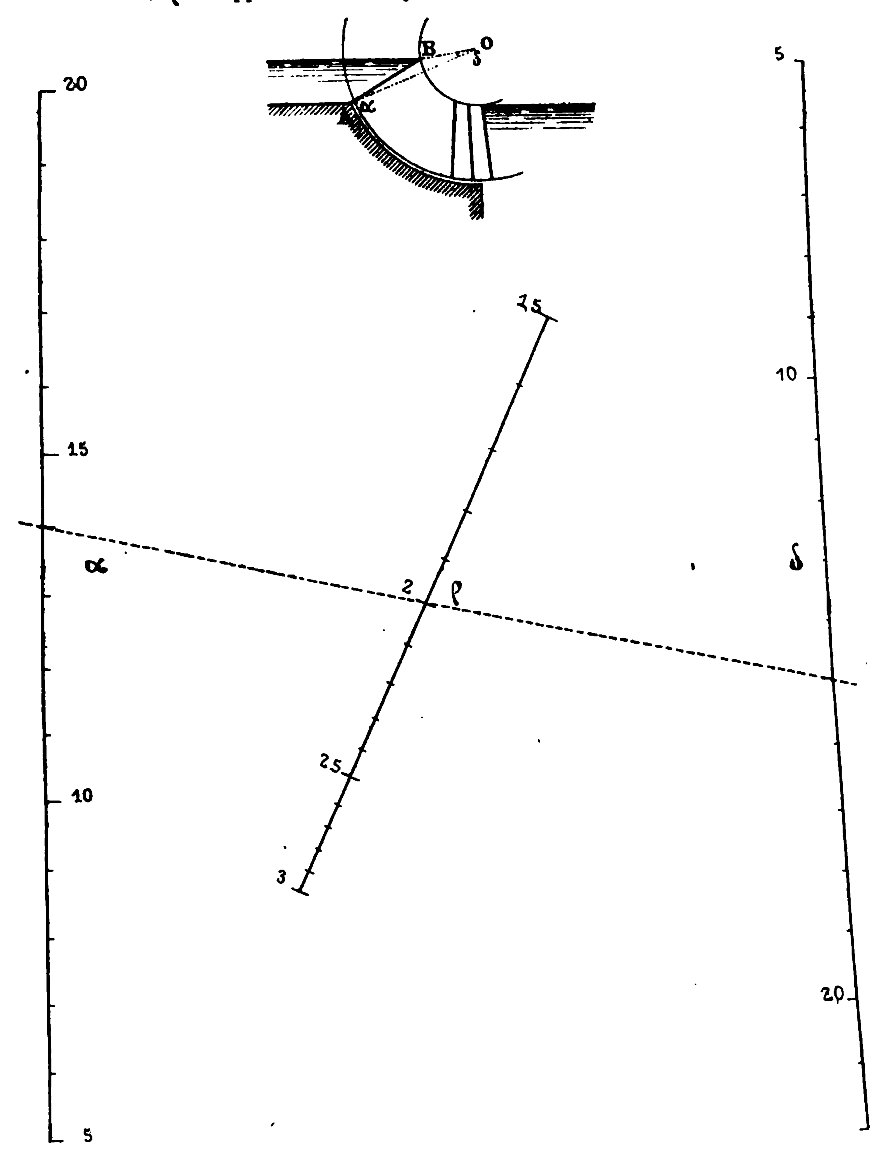
dans laquelle on a : $X_n = a_n\chi_n + b_n$

pour une seule des fonctions X_1, X_2. Nous venons d'indiquer, pour cette forme, une équation génératrice facile à retenir.

TRACÉ DES AUBES
de la roue Sagebien

Formule : $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \delta}{\rho - \cos \delta}$

- $\operatorname{tg} \alpha$ Inclinaison des aubes sur le rayon passant par l'extrémité externe
- δ Angle A O B.
- ρ Rapport entre les rayons des couronnes extérieure et intérieure.



ABAQUE XXIV

R. Soreau

76. — EXEMPLE : *Tracé des aubes de la roue Sagebien (Abaque XXIV).* — L'inclinaison α des aubes planes AB sur le rayon OA est définie par le triangle OAB, d'où, en appelant R le rayon extérieur, r le rayon intérieur :

$$\frac{\sin \alpha}{r} = \frac{\sin (\alpha + \delta)}{R}.$$

On en tire, en désignant par ρ le rapport $\frac{R}{r}$:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \delta}{\rho - \cos \delta},$$

équation du type considéré; $[\alpha]$ et $[\rho]$ sont des échelles rectilignes, $[\delta]$ une échelle curviligne.

On peut écrire :

$$\begin{array}{ccc} [y] & [x] & [t] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} \operatorname{tg} \alpha & 0 & 1 \\ 0 & 1 & \rho \\ -\sin \delta & 1 & \cos \delta \end{vmatrix} = 0.$$

Nous avons construit l'abaque sans modifier ce déterminant, avec :

$$y = 500 \operatorname{tg} \alpha \text{ suivant l'axe des } x \qquad [\alpha]$$

$$x = \frac{250}{\rho} \qquad — \qquad y \qquad [\rho]$$

$$\begin{cases} x = \dfrac{250}{\cos \delta} \\ y = -500 \operatorname{tg} \delta. \end{cases} \qquad [\delta]$$

En prenant des axes de coordonnées obliques, il est facile de placer les échelles $[\alpha]$ et $[\delta]$ en face l'une de l'autre.

Pour $R = 2r$, $\delta = 15^\circ$, l'abaque donne $\alpha = 14^\circ$: c'est bien la valeur que fournit la formule.

a) Forme $f_1 f_3 + f_2 \varphi_3 + \psi_3 = 0$.

77. — *Abaque à 2 échelles parallèles.* — Dans le cas où les 2 échelles rectilignes sont parallèles, l'abaque à entrecroisement qui en résulte par la transformation géométrique inverse du n° **40** donne immédiatement la forme de l'équation; en effet, ce

dernier abaque a 2 réseaux composés de droites parallèles ; en prenant comme axes des parallèles à ces réseaux, on a la forme :

$$f_1 f_3 + f_2 \varphi_3 + \psi_3 = 0$$

qui est représentable par les 3 réseaux :

$$x = f_1 \qquad (\alpha_1)$$

$$y = f_2 \qquad (\alpha_2)$$

$$x f_3 + y \varphi_3 + \psi_3 = 0. \qquad (\alpha_3)$$

Cette forme rentre bien dans le cas plus général du n° **75**, car on peut l'écrire :

$$\frac{f_1 + \frac{\psi_3}{f_3}}{\frac{\varphi_3}{f_3}} = -f_2.$$

Elle a été envisagée par M. d'Ocagne ; nous allons trouver directement les équations des 2 échelles rectilignes et de l'échelle curviligne.

78. — Sur deux droites parallèles AA', BB', et à partir de leurs points de rencontre A et B avec une droite quelconque, portons des longueurs :

$$AA' = l_1 f_1,$$

$$BB' = l_2 f_2.$$

Prenons AB comme axe des x, et la parallèle équidistante de AA' et de BB' comme axe des y. Pour qu'un point M, de coordonnées x et y, soit dans l'alignement des points A' et B', il faut qu'on ait, en posant AB $= 2d$:

$$\begin{vmatrix} -d & l_1 f_1 & 1 \\ d & l_2 f_2 & 1 \\ x & y & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Identifions avec la proposée, nous obtenons :

$$\frac{l_1 l_2 (d - x)}{l_2 f_3} = \frac{l_1 l_2 (d + x)}{l_1 \varphi_3} = -\frac{2dy}{\psi_3},$$

ce qu'on peut écrire :

$$\frac{l_1 l_2 d}{l_1 \varphi_3 + l_2 f_3} = \frac{l_1 l_2 x}{l_1 \varphi_3 - l_2 f_3} = -\frac{dy}{\psi_3},$$

L'équation est donc représentable par un abaque à points alignés ayant 2 échelles parallèles et 1 échelle curviligne, savoir :

$$u_1 = l_1 f_1, \qquad [\alpha_1]$$

$$u_2 = l_2 f_2, \qquad [\alpha_2]$$

$$\left\{ \begin{aligned} x &= d\,\frac{l_1\varphi_3 - l_2 f_3}{l_1\varphi_3 + l_2 f_3} \\ y &= -\frac{l_1 l_2 \psi_3}{l_1\varphi_3 + l_2 f_3} \end{aligned} \right. \qquad [\alpha_3]$$

Il suffit, dans la construction de l'abaque, d'assurer l'alignement de 3 points correspondant à une solution quelconque (α_1 α_2 α_3).

Remarque I. — Si les fonctions f_3 φ_3 ψ_3 s'expriment linéairement par rapport à une fonction χ_3 de α_3, ou, ce qui revient au même, si elles sont reliées par une équation linéaire et homogène, l'ordre s'abaisse à 3.

En particulier, pour $\psi_3 \equiv 0$, on retrouve des échelles analogues à celles du n° **66**.

Remarque II. — Si le précédent abaque à alignement ne convient pas, on en choisira un autre en prenant les valeurs les plus convenables des paramètres $\lambda\mu\nu$... dans l'équation $\Delta = 0$ obtenue en multipliant par δ l'équation :

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & -f_1 \\ 0 & 1 & -f_2 \\ f_3 & \varphi_3 & \psi_3 \end{vmatrix} = 0,$$

que donne la disjonction des variables opérée au n° **77**.

Remarque III. — Les équations $[\alpha_1]$ $[\alpha_2]$ $[\alpha_3]$ résultent immédiatement des équations (α_1) (α_2) (α_3) auxquelles on applique les formules de la Remarque II du n° **40**.

79. — Exemples : 1° *Volume du ballast. (Abaque XXV.)* — Les côtés du profil étant inclinés à 2/3, le volume du ballast au mètre courant, abstraction faite des traverses, est :

$$V = bh + 0{,}75h^2$$

VOLUME DU BALLAST

Formule :

$V = bh + 0.75\,h^2$

(pour côtés inclinés à 2/3)

- **V** Volume du ballast, en m. c.
- **b** Largeur en plateforme du 1/2 profil, en m
- **h** Hauteur du ballast, en m

b : 3m2 — 3.3 — 3.4 — 3.5 — 3.6 — 3.7 — 3.8 — 3.9 — 4.0

V : 1m3 — 1,2 — 1,3 — 1,4 — 1,5 — 1,6 — 1,7 — 1,8 — 1,9 — 2,0 — 2,1 — 2,2 — 2,3 — 2,4 — 2,5 — 2,6 — 2,7

h : 0m33 — 0 34 — 0 35 — 0 36 — 0 37 — 0 38 — 0 39 — 0 40 — 0 41 — 0 42 — 0 43 — 0 44 — 0 45 — 0 46 — 0 47 — 0 48 — 0 49 — 0 50 — 0 51 — 0 52 — 0 53 — 0 54 — 0 55 — 0 56 — 0 57 — 0 58 — 0 59 — 0 60

Cie de l'Ouest

ABAQUE XXV

où les lettres ont la signification indiquée sur l'abaque. Appliquant les formules, on trouve :

$$u_1 = l_1 b, \qquad [b]$$

$$u_2 = l_2 \mathrm{V}, \qquad [\mathrm{V}]$$

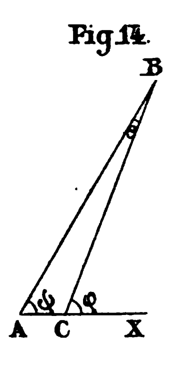
$$\left\{ \begin{aligned} x &= -d \frac{l_1 + l_2}{-l_1 + l_2 h} \\ y &= -\frac{0{,}75 l_1 l_2 h^2}{-l_1 + l_2 h} \end{aligned} \right. \qquad [h]$$

On a un abaque composé de deux droites parallèles et d'une branche d'hyperbole. L'abaque du Service de la construction des Chemins de fer de l'Ouest a été établi avec $l_1 = 25\ cm$, $l_2 = 16\ cm$.

Afin de ne pas avoir à retrancher le volume constant v_0 que les traverses occupent dans le ballast au mètre courant, on trace sur un transparent une droite, et sur cette droite un demi-cercle ayant pour rayon $l_2 v_0$: on oriente la droite du transparent de façon que le demi-cercle soit placé, par rapport à cette droite, du côté de la graduation décroissante de [V], son centre étant sur cette échelle. En prenant la cote où le demi-cercle coupe [V], on a évidemment $\mathrm{V} - v_0$.

80. — 2° *Tir indirect avec observations télémétriques (Abaques XXVI et XXVII).* — Soit *(fig. 14)* une batterie A tirant sur un ennemi invisible B, qu'on observe d'un poste télémétrique C, situé à une distance connue d de A. Prenons cette distance comme unité, et désignons par ρ et $\rho + a$ les distances CB et AB. Le télémètre donne ρ; de plus, comme l'ennemi est invisible du point A, l'observateur du poste télémétrique note l'angle φ sous lequel il le voit. Pour déterminer les éléments du tir, à savoir la distance $\rho + a$ et la direction $\psi = \varphi - \varepsilon$, il s'agit de calculer les corrections a et ε qu'il faut apporter aux observations ρ et φ.

Fig. 14.



1° *Correction de distance.* — Le triangle ABC donne :

$$(\rho + a)^2 = \rho^2 + 1 + 2\rho \cos \varphi,$$

d'où :

$$2\rho(a - \cos \varphi) = 1 - a^2.$$

Nous obtenons la forme du n° **77** en écrivant :

$$\cos \varphi + \frac{1}{2\rho}(1 - a^2) - a = 0,$$

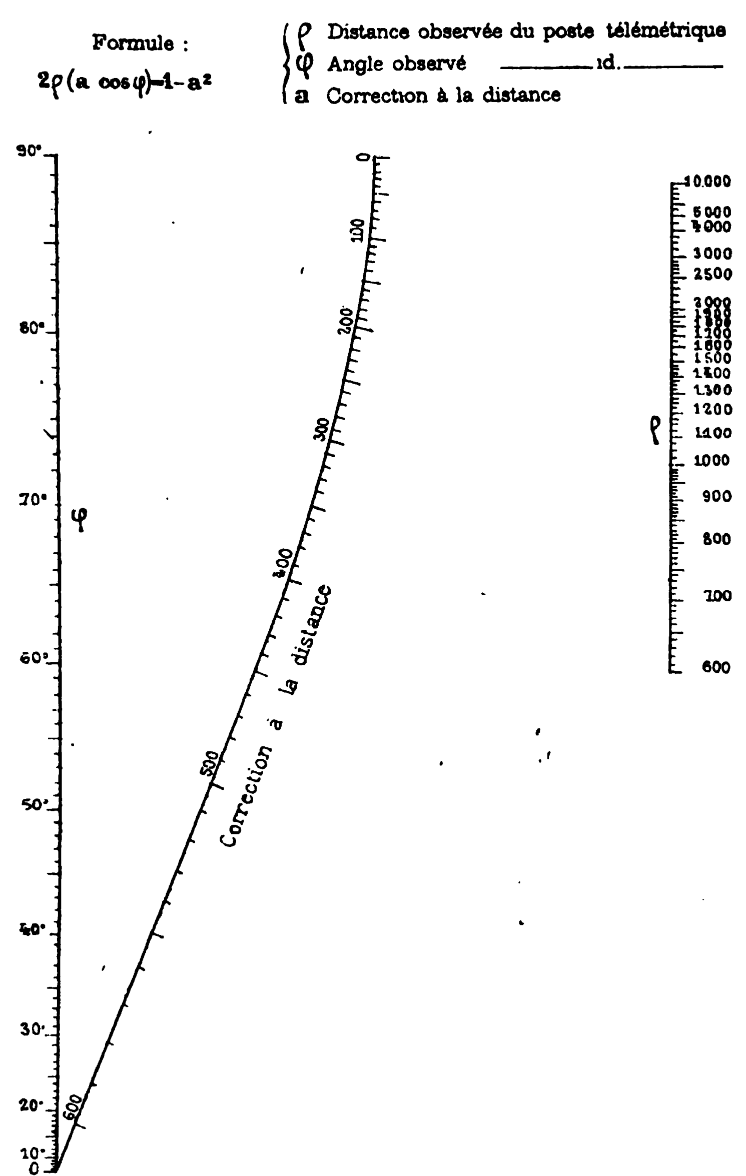
TIR INDIRECT AVEC OBSERVATIONS TÉLÉMÉTRIQUES

correction de distance

Formule :

$2\rho(a \cos\varphi) - 1 - a^2$

ρ Distance observée du poste télémétrique
φ Angle observé ——————— id. ———————
a Correction à la distance



ABAQUE XXVI

Cap. Ricci

d'où l'abaque à 2 échelles parallèles et 1 courbe :

$$u_1 = l_1 \cos \varphi \qquad [\varphi]$$

$$u_2 = \frac{l_2}{2\rho} \qquad [\rho]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = d\dfrac{l_1(1-a^2)-l_2}{l_1(1-a^2)+l_2} \\ y = \dfrac{l_1 l_2 a}{l_1(1-a^2)+l_2} \end{array} \right. \qquad [a]$$

Le capitaine G. Ricci (1) a employé une méthode qui revient à poser $l_1 = l_2$.

Il a ainsi obtenu l'abaque XXVI, construit en supposant $d = 1\,000\ m$. La valeur de $\rho + a$ doit donc être multipliée par $AC = \frac{d}{1\,000}$, où d est exprimée en mètres, pour donner la distance AB en mètres.

En prenant $l_1 \neq l_2$, il serait facile de donner la même longueur aux échelles $[\varphi]$ et $[\rho]$; l'échelle $[\rho]$ serait plus nette et l'abaque mieux disposé.

2° *Correction angulaire.* — Dans le triangle ABC on a :

$$\frac{1}{\sin \varepsilon} = \frac{\rho}{\sin(\varphi - \varepsilon)},$$

d'où :

$$\sin \varphi - \cos \varphi \operatorname{tg} \varepsilon - \rho \operatorname{tg} \varepsilon = 0.$$

On pourrait la mettre sous la forme du n° 77 en l'écrivant :

$$\rho - \frac{1}{\operatorname{tg} \varepsilon} \sin \varphi + \cos \varphi = 0,$$

mais l'échelle $[\varepsilon]$ aurait la cote 0, qui est dans le champ des variations utiles, rejetée à l'infini. Il convient donc de recourir à un abaque dont les deux échelles rectilignes soient parallèles. Or la proposée, mise sous la forme

$$\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi + \rho} = \operatorname{tg} \varepsilon,$$

s'écrit immédiatement :

$$\begin{vmatrix} \sin \varphi & \cos \varphi & 1 \\ 0 & \rho & -1 \\ \operatorname{tg} \varepsilon & 1 & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

(1) *Rivista di Artiglieria e Genio*, décembre 1900. Le capitaine Ricci avait donné dans la même *Revue* (novembre 1896) un abaque à réseaux, beaucoup moins clair, qui est reproduit dans le *Traité* de M. d'Ocagne.

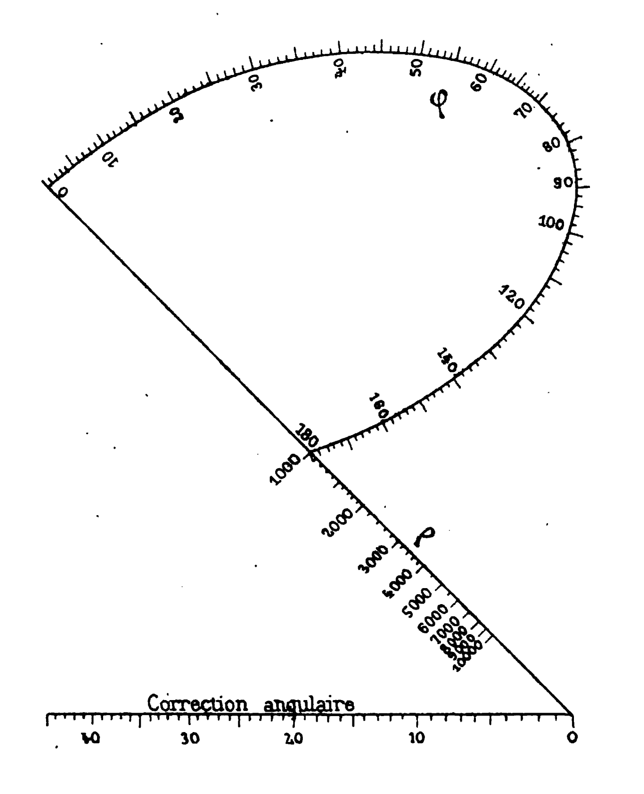
TIR INDIRECT AVEC OBSERVATIONS TÉLÉMÉTRIQUES

correction angulaire

Formule :

$\sin\varphi - \cos\varphi \, tg\varepsilon - \rho \, tg\varepsilon = 0$

- ρ Distance observée du poste télémétrique
- φ Angle observé ___________ id. ___________
- ε Correction angulaire



ABAQUE XXVII *Cap. Ricci*

La méthode employée par le capitaine Ricci revient à prendre :

$$\begin{vmatrix} \sin\varphi - \cos\varphi + 3 & \sin\varphi + \cos\varphi - 3 & 1 \\ -(\rho + 3) & \rho + 3 & -1 \\ \operatorname{tg}\varepsilon - 1 & \operatorname{tg}\varepsilon + 1 & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

(colonnes : $[x]$, $[t]$, $[y]$)

On a ainsi l'abaque XXVII.

b) Forme $F_{12}f_3 + \Phi_{12}\varphi_3 + \psi_3 = 0$,
où F_{12} *et* Φ_{12} *sont des fonctions linéaires de* χ_1 *et* χ_2.

81. — Parmi les formes du cas $p = 4$ pour lesquelles la disjonction est généralement possible, nous avons découvert la forme remarquable :

$$F_{12}f_3 + \Phi_{12}\varphi_3 + \psi_3 = 0,$$

dans laquelle on a :

$$F_{12} = a\chi_1 + b\chi_2 + c,$$
$$\Phi_{12} = a'\chi_1 + b'\chi_2 + c',$$

La forme du § *a* en est un cas particulier.

La proposée peut s'écrire :

$$(a\chi_1 + b\chi_2 + c)\chi_3 + (a'\chi_1 + b'\chi_2 + c')\zeta_3 + K = 0.$$

Si $K = 0$, l'ordre s'abaisse à 3, et l'on a une forme connue.

Si $K \neq 0$, il est toujours possible, pourvu que l'on ait $ab' - ba' \neq 0$, d'identifier l'équation avec :

$$\begin{vmatrix} \chi_1 + l_1 & \chi_1 + m_1 & \chi_1 + n_1 \\ \chi_2 + l_2 & \chi_2 + m_2 & \chi_2 + n_2 \\ \chi_3 + 1 & \zeta_3 + 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Car cette identification conduit à prendre, en posant $\dfrac{1}{ab' - ba'} = \rho$,

$$l_1 = \rho(cb' - bc' - b'),$$
$$l_2 = \rho(ac' - ca' + a'),$$
$$m_1 = \rho(cb' - bc' + b),$$
$$m_2 = \rho(ac' - ca' - a),$$
$$n_1 = \rho(cb' - bc'),$$
$$n_2 = \rho(ac' - ca').$$

La disjonction est donc opérée. On peut d'ailleurs ramener la proposée à la forme du § *a* :

$$f_1 f_3 + f_2 \varphi_3 + \psi_3 = 0.$$

En effet, multiplions le déterminant précédent par :

$$\delta = \begin{vmatrix} m_2 - n_2 & n_2 - l_2 & l_2 - m_2 \\ m_1 - n_1 & n_1 - l_1 & l_1 - m_1 \\ \lambda'' & \mu'' & \nu'' \end{vmatrix}$$

$\lambda'' \mu'' \nu''$ étant d'ailleurs arbitraires, et choisis seulement de façon qu'on ait $\delta \neq 0$. On obtient une expression telle que :

$$\begin{vmatrix} F_1 & 0 & \Psi_1 \\ 0 & \Phi_2 & \Psi_2 \\ F_3 & \Phi_3 & \Psi_3 \end{vmatrix} = 0,$$

qu'on peut écrire : $\dfrac{\Psi_1}{F_1} F_3 + \dfrac{\Psi_2}{F_2} \Phi_3 - \Psi_3 = 0.$

V. — Équations d'ordre 5.

82. — Les abaques à points alignés, s'ils existent, sont alors formés de : 1 échelle rectiligne et de 2 échelles curvilignes.

Parmi les équations de cet ordre dont la disjonction est toujours possible, nous rappelons la suivante :

$$\frac{a_1 \chi_1 + a_2 \chi_2 + b}{A_1 X_1 + A_2 X_2 + B} = \chi_3,$$

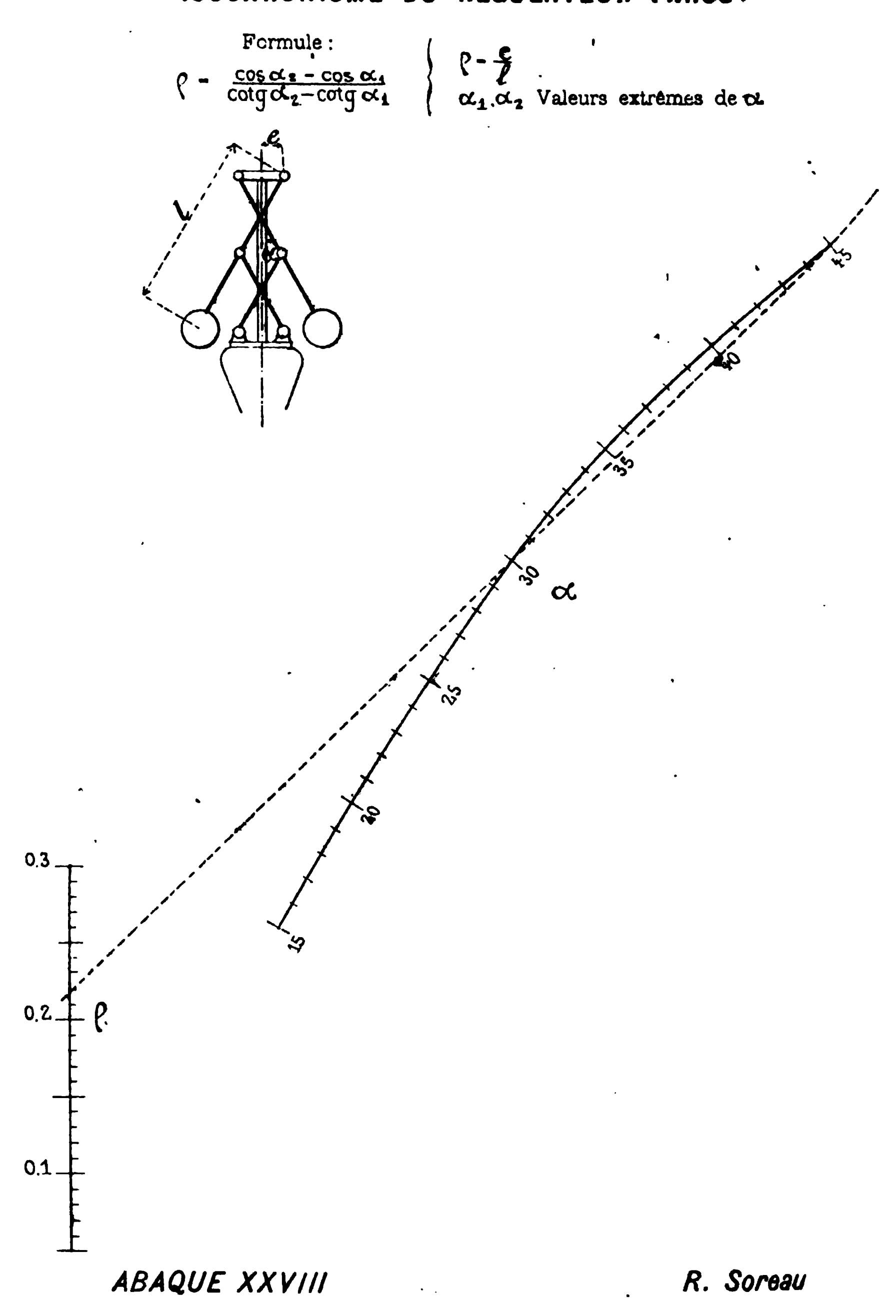
où X_1 et X_2 ne sont pas des fonctions linéaires de χ_1 et χ_2. L'équation génératrice est :

$$\begin{vmatrix} a_1 \chi_1 & A_1 X_1 & 1 \\ a_2 \chi_2 + b & A_2 X_2 + B & -1 \\ \chi_3 & 1 & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

83. — Il arrive souvent, en Mécanique appliquée, que l'équation précédente se présente sous la forme :

$$\frac{\chi_1 \pm \chi_2}{X_1 \pm X_2} = \chi_3.$$

ISOCHRONISME DU RÉGULATEUR FARCOT



Alors les deux échelles curvilignes $[\alpha_1]$ et $[\alpha_2]$ se confondent en une seule $[\alpha]$, et la solution est donnée par l'intersection de la corde $\alpha_1\alpha_2$ de cette courbe avec la droite $[\alpha_3]$.

84. — Exemples : *1° Isochronisme du régulateur Farcot à bielles croisées (Abaque XXVIII).* — Le régulateur est sensiblement isochrone s'il existe, entre ρ et les valeurs extrêmes α_1 et α_2 de l'angle variable α, la relation :

$$\rho = \frac{\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1}{\operatorname{cotg}\alpha_2 - \operatorname{cotg}\alpha_1},$$

d'où l'équation génératrice :

$$\begin{vmatrix} \rho & 0 & 1 \\ \cos\alpha_1 & 1 & \operatorname{cotg}\alpha_1 \\ \cos\alpha_2 & 1 & \operatorname{cotg}\alpha_2 \end{vmatrix} = 0.$$

On a donc les échelles :

$$y = \lambda\rho \text{ suivant l'axe des } y, \qquad [\rho]$$

$$\left\{\begin{array}{l} y = \lambda \sin\alpha, \\ x = \mu \operatorname{tg}\alpha. \end{array}\right. \qquad [\alpha]$$

Notons, pour la construction de l'abaque, que le point $\rho = 1$ de l'échelle régulière $[\rho]$ est à l'intersection de Oy avec l'asymptote $y = \lambda$ de la courbe $[\alpha]$.

85. — *2° Écoulement de l'eau par un orifice rectangulaire en paroi verticale, deux des côtés étant horizontaux (Abaques XXIX et XXX).* — La vitesse est donnée par la formule qui figure à la légende des abaques, formule qu'on peut écrire :

$$\begin{vmatrix} 0{,}338\,v & 0 & 1 \\ h_1^{\frac{3}{2}} & 1 & h_1 \\ h_2^{\frac{3}{2}} & 1 & h_2 \end{vmatrix} = 0.$$

L'échelle $[h]$ est une courbe de forme hyperbolique $xy^2 = 1$ asymptote aux deux axes de coordonnées.

Si (v, h_1, h_2) est solution, $(\lambda v, \lambda^2 h_1, \lambda^2 h_2)$ l'est aussi : nous en avons profité pour réduire les limites de h et de v sur l'abaque, qui ne peut avoir quelque précision que dans un champ étroit. Les limites usuelles de h sont 0,015 et 3,5, intervalle que nous avons fractionné de la façon suivante :

ÉCOULEMENT DE L'EAU

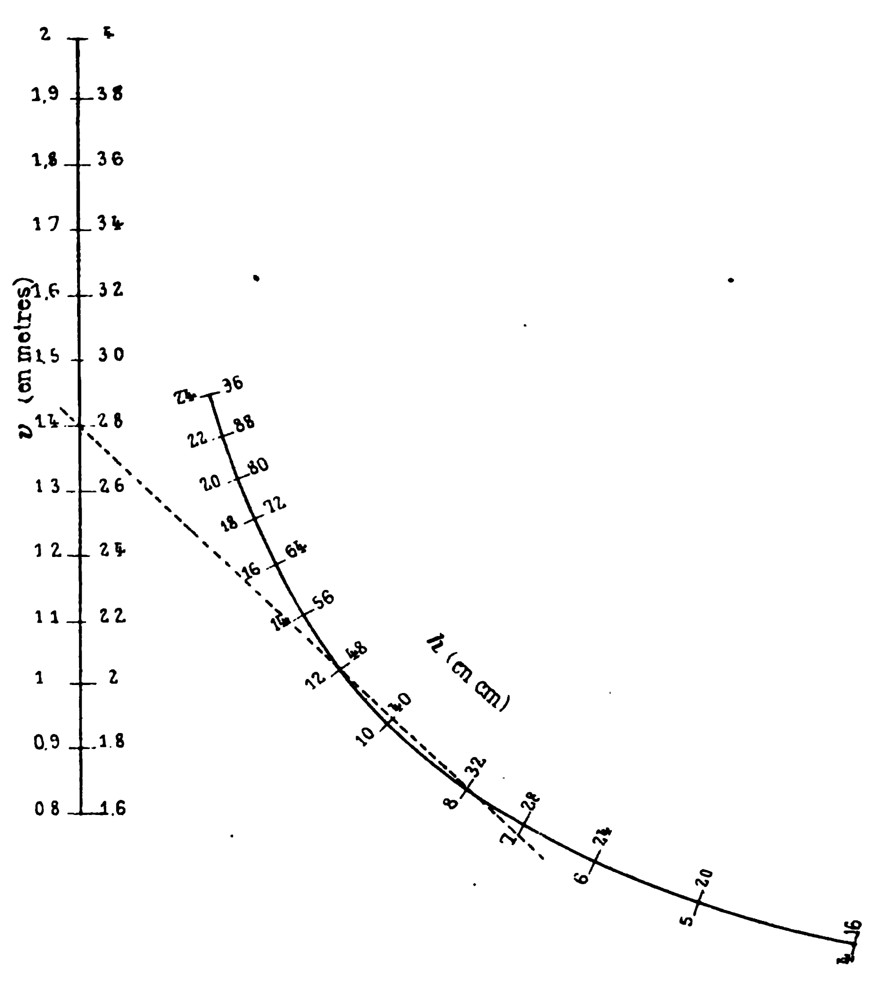
par un orifice rectangulaire en paroi verticale

Formule :

$$v = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\;\frac{h_1^{3/2} - h_2^{3/2}}{h_1 - h_2}$$

v Vitesse théorique, en mètres / secondes.

h_1, h_2 Distances des deux côtés horizontaux au niveau, en mètres.



ABAQUE XXIX

R. Soreau

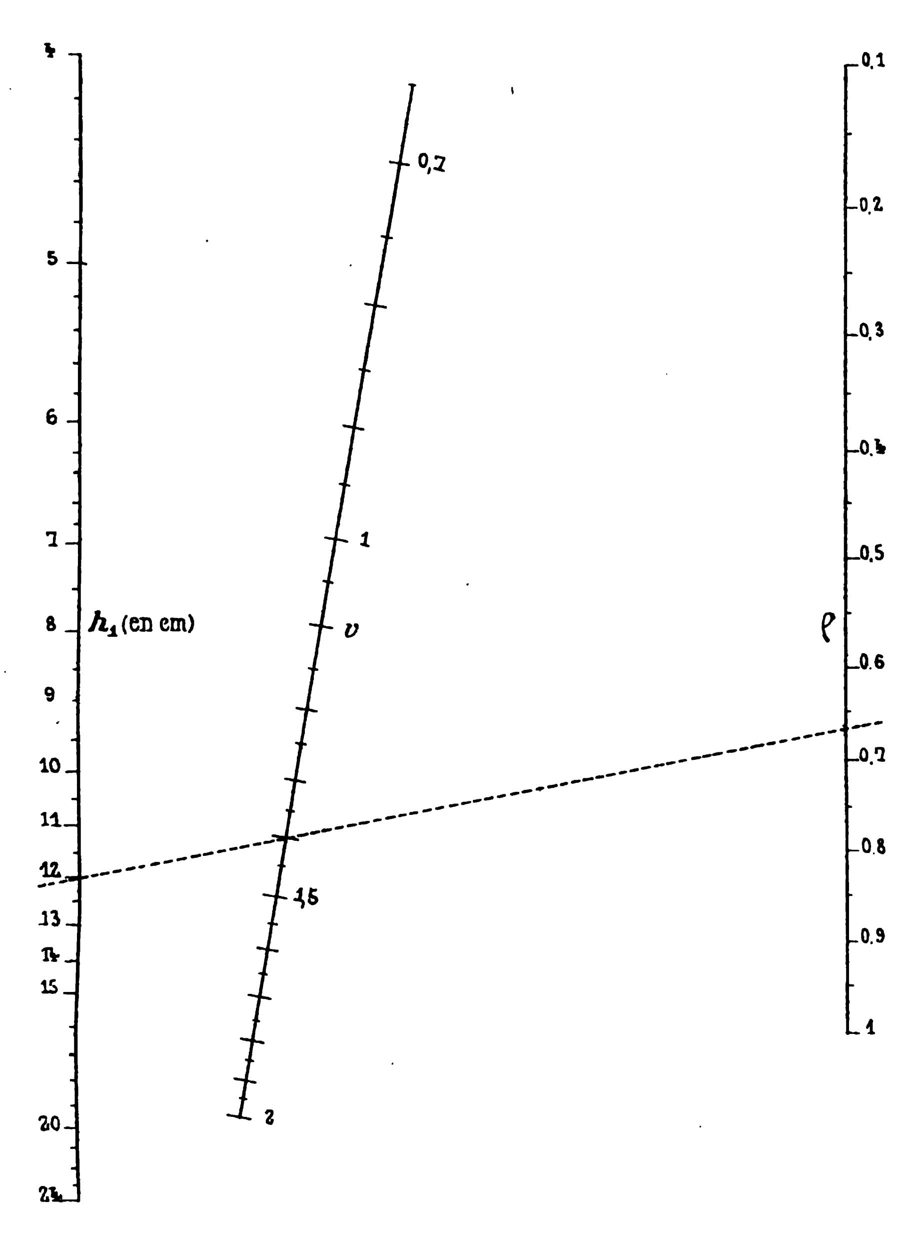
ÉCOULEMENT DE L'EAU

par un orifice rectangulaire en paroi verticale

Formule :

$$v = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\, h_1^{3/2}\, \frac{1-\rho^{3/2}}{1-\rho}$$

- v Vitesse théorique, en mètres / secondes.
- h_1 Distance au niveau du côté le plus bas, en mètres.
- ρ Rapport des distances des deux côtés au niveau.



ABAQUE XXX

R. Soreau

0,015 à 0,06
0,06 à 0,24
0,24 à 0,96
0,96 à 3,84

La courbe [h] porte les deux graduations intermédiaires, et les deux extrêmes s'en déduisent en divisant ou en multipliant h_1 et h_2 par 4; mais comme il faut prévoir le cas où h_1 et h_2 comprendraient les valeurs qui limitent ces graduations, nous leur avons donné une avance, en les commençant à 0,04 et 0,16.

De même [v] a reçu deux graduations. Les graduations correspondantes de [h] et de [v] sont toutes deux à droite ou à gauche de leur support. S'il faut multiplier h_1 et h_2 par 4, la valeur de v doit être divisé par 2, et inversement.

Ainsi, soient $h_1 = 0,03$, $h_2 = 0,02$. Pour se servir de l'abaque, il faut multiplier par 4, d'où $h_1 = 12$ *cm*, $h_2 = 8$ *cm*, ce qui donne $v = 1,4$. La vitesse est donc 0,7 *m*. C'est bien ce que donne le calcul, d'après la formule proposée.

Remarque. — On peut aussi représenter cette équation par un abaque d'ordre 3, en l'écrivant :

$$v = \frac{2}{3}\sqrt{2g}h_1^{\frac{3}{2}}\frac{1-\rho^{\frac{3}{2}}}{1-\rho},$$

avec $\rho = \frac{h_2}{h_1}$: c'est ce que nous avons fait, pour qu'on puisse comparer les deux modes de représentation. L'abaque XXX a été construit avec :

$$u_1 = 300\frac{1-\rho^{\frac{3}{2}}}{1-\rho},$$

$$u_2 = 150 \times 0,338\frac{1}{h_1^{\frac{3}{2}}},$$

$$u_3 = d\frac{2v-1}{2v+1}.$$

Les échelles [d] et [h_1] se déduisent facilement l'une de l'autre, car, pour $\rho = 1$, on a $\frac{1-\rho^{\frac{3}{2}}}{1-\rho} = 1,5$, d'où :

$$v = 4,44\, h_1^{\frac{3}{2}},$$

relation qui lie les points v et h_1 situés sur les radiantes issues du point $\rho = 1$.

Si l'on compare les abaques XXIX et XXX, on voit facilement qu'au point de vue de la précision le dernier est préférable. Mais il exige le calcul de ρ, alors que le premier abaque donne l'inconnue en fonction de h_1 et de h_2 sans aucun calcul.

VI. — Équations d'ordre 6.

86. — Les abaques à points alignés, s'ils existent, sont alors formés de 3 supports curvilignes.

En détruisant l'homogénéité, l'équation générale peut s'écrire :

$$\begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & 1 \\ f_2 & \varphi_2 & 1 \\ f_3 & \varphi_3 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

d'où

$$\frac{f_1 - f_2}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{f_1 - f_3}{\varphi_1 - \varphi_3}.$$

87. — Parmi les équations de cet ordre dont la disjonction est toujours possible, citons celles de la forme suivante, trouvée par M. Massau :

$$(m_1\chi_1 + n_1)(m_2\chi_2 + n_2)f_3 + (p_1\chi_1 + q_1)(p_2\chi_2 + n_2)\varphi_3 + (r_1\chi_1 + s_1)(r_2\chi_2 + s_2)\psi_3 = 0.$$

Nous avons dit **(45)** que cette équation doit être considérée comme étant d'ordre 6, et nous allons montrer qu'alors, en effet, la disjonction est possible.

Elle est de la forme :

$$f_1 f_2 f_3 + \varphi_1\varphi_2\varphi_3 + \psi_1\psi_2\psi_3 = 0$$

qu'on peut écrire :

$$\begin{vmatrix} \dfrac{l}{f_1 f_2} & \dfrac{1-l}{\varphi_1\varphi_2} & \dfrac{-1}{\psi_1\psi_2} \\ \dfrac{m}{f_1 f_2} & \dfrac{1-m}{\varphi_1\varphi_2} & \dfrac{-1}{\psi_1\psi_2} \\ f_3 & \varphi_3 & \psi_3 \end{vmatrix} = 0$$

l et m étant quelconques, paramètres ou fonctions, pourvu qu'on n'ait pas $l = m$.

Comme f_1, φ_1, ψ_1 sont des fonctions linéaires de χ_1, il existe entre elles une relation linéaire et homogène :

$$af_1 + b\varphi_1 + c\psi_1 = 0,$$

a, b, c étant déterminés par les relations :

$$\frac{a}{\begin{vmatrix} p_1 & r_1 \\ q_1 & s_1 \end{vmatrix}} = \frac{b}{\begin{vmatrix} r_1 & m_1 \\ s_1 & n_1 \end{vmatrix}} = \frac{c}{\begin{vmatrix} m_1 & p_1 \\ n_1 & q_1 \end{vmatrix}}$$

Puisque l est arbitraire, prenons :

$$\frac{l}{af_1} = \frac{-1}{c\psi_1}, \quad \text{d'où} = \frac{1-l}{b\varphi_1}.$$

Remplaçons, dans la première ligne du déterminant, $\frac{l}{f_1}$, $\frac{1-l}{\varphi_1}$, $\frac{-1}{\psi_1}$ par les valeurs proportionnelles a, b, c, ou mieux par les déterminants qui leur sont eux-mêmes proportionnels. Faisons de même pour la deuxième ligne, où $\frac{m}{f_2}$, $\frac{1-m}{f_2}$, $\frac{-1}{\psi_2}$ peuvent être remplacés par des déterminants analogues, dans lesquels l'indice 2 remplace l'indice 1. On a finalement :

$$\begin{vmatrix} \frac{p_2s_2 - r_2q_2}{f_1} & \frac{r_2n_2 - m_2s_2}{\varphi_1} & \frac{m_2q_2 - n_2p_2}{\psi_1} \\ \frac{p_1s_1 - r_1q_1}{f_2} & \frac{r_1n_1 - m_1s_1}{\varphi_2} & \frac{m_1q_1 - n_1p_1}{\psi_2} \\ f_3 & \varphi_3 & \psi_3 \end{vmatrix} = 0$$

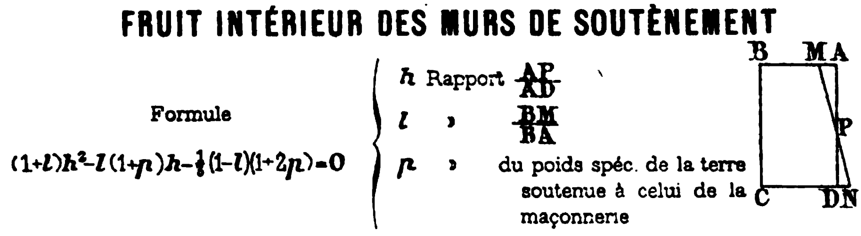
88. — Exemple : *Fruit intérieur des murs de soutènement. (Abaque XXXI.)* — ABCD étant la section rectangulaire d'un mur de soutènement calculé pour une certaine résistance, MBCN le trapèze de même hauteur et de même résistance, on a entre les rapports l,h et p la relation indiquée sur l'abaque.

Appliquant la méthode précédente, on obtient :

$$\begin{matrix} [x] & [z] & [y] \end{matrix}$$
$$\begin{vmatrix} 2(l^2-1) & 3l(l+1) & -l(l-1) \\ 2(2p+1) & 3(p+1) & -(p+1)(2p+1) \\ h & 1 & -h^2 \end{vmatrix} = 0,$$

Les valeurs extrêmes des données l et p sont, en général, 1 et 0,5. Si l'on voulait construire l'abaque avec l'équation ci-dessus, sans introduire de paramètres, il y aurait lieu de ne prendre

FRUIT INTÉRIEUR DES MURS DE SOUTÈNEMENT



Formule

$$(1+l)h^2 - l(1+p)h - \tfrac{1}{3}(1-l)(1+2p) = 0$$

- h Rapport $\frac{AP}{AD}$
- l » $\frac{BM}{BA}$
- p » du poids spéc. de la terre soutenue à celui de la maçonnerie

l : 0,5 — 0,6 — 0,7 — 0,8 — 0,9 — 1

h : 1 — 0,95 — 0,9 — 0,85 — 0,8 — 0,75

p : 1 — 0,9 — 0,8 — 0,7 — 0,6 — 0,5

ABAQUE XXXI

M. d'Ocagne

ni la première, ni la troisième colonne pour colonne des z, puisque, pour $l = 1$, l'une au moins des quantités x et y serait infinie. On affecterait donc les colonnes des signes $[x]$, $[y]$, $[z]$ comme nous l'avons indiqué.

Les points correspondant aux valeurs extrêmes de l et de p seraient :

$$\text{pour } l = 1, \quad x = 0, \quad y = 0,$$
$$— \quad l = \frac{1}{2}, \quad x = -\frac{2}{3}, \quad y = \frac{1}{9};$$
$$\text{pour } p = 1, \quad x = 1, \quad y = -1,$$
$$— \quad p = \frac{1}{2}, \quad x = \frac{8}{9}, \quad y = -\frac{2}{3}.$$

D'autre part, pour $p = 1$, la proposée devient :

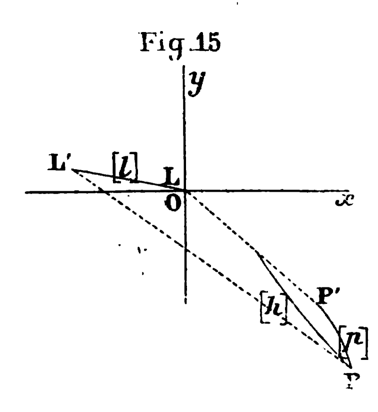
$$(1 + l)h^2 - 2lh - (1 - l) = 0,$$

qui admet la solution $h = 1$, quel que soit h.

On aurait donc un abaque disposé comme l'indique la figure 15, dans laquelle le quadrilatère utile LL'PP' est très aplati.

Nous allons montrer sur cet exemple comment l'introduction des paramètres de δ conduit à une excellente disposition de l'abaque. Déterminons ces paramètres de façon que le quadrilatère devienne un rectangle, en rejetant à l'infini, par transformation homographique, le point de rencontre des droites LL', PP', dans la direction Oy, et le point de rencontre des droites LP', L'P, dans la direction Ox : on a ainsi un rectangle, et l'on peut choisir pour ses sommets des coordonnées de valeurs simples, car il sera toujours loisible ultérieurement d'amplifier ou de restreindre les abscisses ou les ordonnées. Nous prendrons :

Fig. 15



$$\text{pour } l = 1, \quad x = -1, \quad y = 0,$$
$$— \quad l = \frac{1}{2}, \quad x = -1, \quad y = 1;$$
$$\text{pour } p = 1, \quad x = 1, \quad y = 1,$$
$$— \quad p = \frac{1}{2}, \quad x = 1, \quad y = 0.$$

Or, puisque le nouvel abaque est homographique du premier, sa courbe [l] a des équations de la forme :

$$\left\{\begin{aligned} x &= \frac{2(l^2-1)\lambda + 3l(l+1)\mu - l(l-1)\nu}{2(l^2-1)\lambda'' + 3l(l+1)\mu'' - l(l-1)\nu''} \\ y &= \frac{2(l^2-1)\lambda' + 3l(l+1)\mu' - l(l-1)\nu'}{2(l^2-1)\lambda'' + 3l(l+1)\mu'' - l(l-1)\nu''} \end{aligned}\right. \qquad [l]$$

Faisant successivement $l = 1$ et $l = \frac{1}{2}$ dans ces deux formules, on obtient quatre équations de condition.

De même, en considérant la courbe [p] et en faisant successivement $p = 1$, $p = \frac{1}{2}$, on obtient quatre autres équations.

On a donc huit conditions pour déterminer les neuf paramètres $\lambda\mu \ldots \nu'''$, l'un quelconque d'entre eux étant pris arbitrairement, pourvu qu'il puisse être différent de zéro. La solution de ces huit équations ne présente aucune difficulté et donne :

$$\delta = \begin{vmatrix} 5 & -4 & -4 \\ 3 & 0 & 4 \\ -7 & 4 & 8 \end{vmatrix}.$$

On obtient ainsi :

$$\begin{vmatrix} \overset{[x]}{(l-1)(2l-1)-(l+2)(l+3)} & \overset{[y]}{-(l-1)(l+3)} & \overset{[z]}{(l-1)(2l-1)+(l+2)(l+3)} \\ (2p+1)(3p+2)-(p-1)(2p-1) & (2p-1)(2p+1) & (2p+1)(3p+2)+(p-1)(2p-1) \\ h(6h-1)-2(h-1)(h-2) & h(4h-3) & h(6h-1)+2(h-1)(h-2) \end{vmatrix} = 0.$$

On multipliera les colonnes x et y par des paramètres A et B de façon à avoir telles dimensions que l'on désirera pour le rectangle limite.

M. d'Ocagne a donné de cet exemple une solution analogue par la considération des coordonnées parallèles; on retrouve exactement son abaque, dont la disposition est très remarquable, en prenant $A = 1$, $B = 5$. L'emploi des coordonnées cartésiennes n'est certes pas plus compliqué et donne une construction par points qui permet de coter immédiatement les courbes.

Nous avons reproduit cet abaque en prenant $A = 1$, $B = 10$.

ÉQUATIONS A QUATRE VARIABLES DE LA FORME $F_{12} = F_{34}$

A — ABAQUES A ÉCHELLES BINAIRES ACCOLÉES

89. — Nous avons vu **(20)** que l'équation à 3 variables $F_{123} = 0$, quelle qu'elle soit, est toujours représentable par un abaque à 3 réseaux cotés, dont 2 arbitraires.

Essayons d'appliquer la même méthode à l'équation à 4 variables $F_{1234} = 0$, en prenant une coordonnée de plus z, afin de pouvoir éliminer $\alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3$ entre la proposée :

$$F_{1234} = 0, \qquad (E)$$

et les 3 équations arbitraires :

$$f_1(xyz\alpha_1) = 0, \qquad (\alpha_1)$$

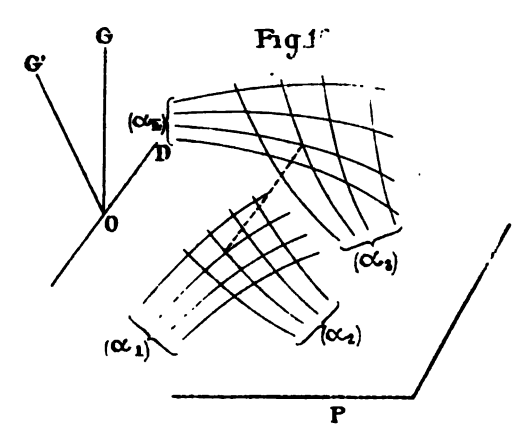
$$f_2(xyz\alpha_2) = 0, \qquad (\alpha_2)$$

$$f_3(xyz\alpha_3) = 0, \qquad (\alpha_3)$$

ce qui donne :

$$f_4(xyz\alpha_4) = 0. \qquad (\alpha_4)$$

Nous obtenons ainsi un système de 4 groupes de surfaces cotées, dont 3 arbitraires; 3 des variables étant connues, les surfaces correspondantes se coupent en un point déterminé, et l'inconnue est donnée par la cote de la surface du 4e groupe qui passe par ce point. Un tel système permettrait donc de résoudre les équations à 4 variables à l'aide d'un appareil qui ne serait d'ailleurs pratiquement réalisable que pour des formes particulières de (E).



Il est un cas important où le système de l'espace peut être ramené à un système plan, susceptible par conséquent d'être traduit en abaque : c'est celui où les surfaces des 4 groupes sont des cylindres ayant, 2 à 2, leurs génératrices parallèles. On peut alors *(fig. 16)* définir ces cylindres par leurs traces (α_1), (α_2), (α_3),

(α_4) sur un plan quelconque P, par la direction G des génératrices des 2 premiers, par la direction G′ des génératrices des 2 seconds. Faisons passer G et G′ par un même point O de P : ces droites déterminent un plan qui coupe P suivant une droite D.

Puisque 4 cylindres correspondant à une solution ($\alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3\, \alpha_4$) sont concourants, c'est que la génératrice commune aux cylindres α_1 et α_2 et la génératrice commune aux cylindres α_3 et α_4 sont dans un même plan, dont la trace sur P est parallèle à D. On a ainsi un abaque plan dont la clef est la suivante : $\alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3$ étant connus, on mène par l'intersection de α_1 et de α_2 une parallèle à D jusqu'à son intersection avec α_3 ; la courbe α_4 qui passe par ce point donne l'inconnue. En vue d'une bonne disposition, on peut déplacer la figure ($\alpha_1\, \alpha_2$) suivant la direction D.

90. — Dans le cas particulier qui vient d'être examiné, la proposée peut toujours se mettre sous la forme :

$$F_{12} = F_{34}.$$

En effet, soient :

$$\varphi_1(xy\alpha_1) = 0, \qquad (\alpha_1)$$
$$\varphi_2(xy\alpha_2) = 0, \qquad (\alpha_2)$$
$$\varphi_3(xy\alpha_3) = 0, \qquad (\alpha_3)$$
$$\varphi_4(xy\alpha_4) = 0, \qquad (\alpha_4)$$

les traces des cylindres sur le plan P, pris comme plan des xy. Choisissons comme axe des y une parallèle à D. L'abscisse de l'intersection des traces (α_1) et (α_2) s'obtient en éliminant y entre leurs deux équations, ce qui donne :

$$Q_{12}(x\, \alpha_1\, \alpha_2) = 0, \qquad \text{d'où} \qquad x = F_{12}.$$

De même l'abscisse de l'intersection des courbes (α_3) et (α_4) est donnée par :

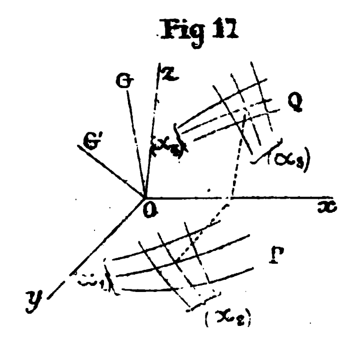
$$Q_{34}(x\, \alpha_3\, \alpha_4) = 0, \qquad \text{d'où} \qquad x = F_{34}.$$

Ces abscisses étant égales, on en déduit pour la proposée :

$$F_{12} = F_{34}.$$

91. — Nous allons indiquer une autre démonstration qui nous sera utile par la suite. Prenons les traces des cylindres (α_1), (α_2) sur un plan (P), et les traces des cylindres (α_3), (α_4) sur un plan différent Q ; soient Ox l'intersection de P et Q, Oy et Oz les intersections de chacun de ces plans par le plan OGG′ défini par les directions des génératrices. Les 4 cylindres correspondant à

une solution $(\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4)$ ont leurs génératrices dans un même plan, dont les traces sur P et Q sont des parallèles à Oy et à Oz.



Rabattons le plan des zx sur celui des xy ; nous obtenons (*fig. 17*) un abaque dont la clef est la suivante :

Par l'intersection des courbes cotées α_1 et α_2, on mène une parallèle à Oy jusqu'à sa rencontre avec Ox, puis, par ce point de rencontre, une parallèle à Oz jusqu'à son intersection avec la courbe α_3 ; la cote de la courbe α_4 qui passe par ce dernier point donne l'inconnue. Si Ox et Oz sont perpendiculaires à Ox, on retrouve la clef du n° **89**.

92. — *Échelles binaires.* — Ces abaques se déduisent aussi très simplement des échelles binaires imaginées par M. Prévot, chef de bureau au Service du nivellement général de la France, échelles dont M. Lallemand a répandu l'usage en l'appliquant notamment à ses abaques hexagonaux.

L'échelle binaire d'une équation $x = F_{12}$ est constituée par l'axe Ox, auquel on adjoint un axe Oy quelconque, et par 2 réseaux :

$$f_1(xy\alpha_1) = 0,$$
$$f_2(xy\alpha_2) = 0,$$

tels que l'élimination de y reproduise $x = F_{12}$. Un de ces réseaux est donc arbitraire. La projection sur Ox, parallèlement à Oy, du point d'intersection des courbes cotées α_1 et α_2 donne sur cette ligne le point à cotes α_1 et α_2. Chaque point de Ox correspond donc à une infinité de groupements $(\alpha_1 \alpha_2)$, ce qui le distingue du point à 2 cotes envisagé par M. d'Ocagne, qui a proposé de donner au point de l'échelle binaire le nom imagé de *point condensé* sur Ox (1). Cette infinité de groupements ne prête, du

(1) En réalité, comme nous l'établirons au n° **156**, le point à 2 cotes

$$x = \frac{f_{12}}{\psi_{12}}$$
$$y = \frac{\varphi_{12}}{\psi_{12}}$$

est représentable soit par 2 réseaux accolés à une courbe, soit par 2 réseaux isolés, suivant qu'il existe ou qu'il n'existe pas de relation homogène entre f_{12}, φ_{12}, ψ_{12}. Le point condensé envisagé par M. d'Ocagne est un cas particulier de la première représentation, celui où la courbe est une droite ; *a fortiori*, c'est un cas particulier du point à 2 cotes.

reste, à aucune indétermination, car l'une des valeurs α_1 ou α_2 étant toujours donnée, l'autre est par suite bien déterminée.

Appliquons le principe des échelles binaires à l'équation :

$$F_{12} = F_{34},$$

en l'écrivant:

$$x = F_{12},$$
$$x = F_{34},$$

on obtient immédiatement les 4 réseaux $f_1 = 0$, $f_2 = 0$, $f_3 = 0$, $f_4 = 0$, avec la clef du n° **89** si les axes Oy des 2 échelles sont perpendiculaires à Ox, et la clef du n° **91** si ces axes font des angles différents avec Ox.

On voit que cet abaque résulte de l'accolement des 2 échelles binaires $x = F_{12}$, $x = F_{34}$, de même que les abaques à échelles accolées pour l'équation à 2 variables (**17**) résultent de l'accolement des 2 échelles simples $x = F_1$, $x = F_2$; d'où leur nom d'*abaques à échelles binaires accolées*.

L'artifice de M. Prévot est une application de l'*accolement* de 2 abaques par un système figuratif commun, méthode générale dont nous aurons à nous occuper plus loin (**77**).

93. — Exemple : *Jauge des Yachts (Abaque XXXII).* — La formule de l'*Union des Yachts français* est indiquée sur l'abaque, avec la signification et la grandeur des variables. Prenons :

$$x = 13l \frac{T}{\sqrt{s}}, \quad \text{d'où} \quad \begin{cases} y = l'T, & (T) \\ x = \dfrac{13l}{l'} \dfrac{y}{\sqrt{s}}, & (s) \end{cases}$$

$$x = \frac{l}{10}\left(Lp - \frac{p^2}{4}\right), \quad \text{d'où} \quad \begin{cases} y = l''L, & (L) \\ x = \dfrac{l}{10}\left(\dfrac{py}{l''L} - \dfrac{p^2}{4}\right). & (p) \end{cases}$$

C'est avec ces équations que M. Chancel (1) a établi l'abaque XXXII, en prenant $l = l' = 6{,}25\,mm$, $l'' = 2l = 12{,}5\,mm$. Les réseaux (T) et (L), formés de droites parallèles, ont été remplacés par une de leurs perpendiculaires communes, parallèle à la direction yy', avec les graduations T et L de part et d'autre. Le réseau (p) affecte la forme de gradins, parce qu'on a figuré seulement les droites utiles correspondant aux valeurs cotées de L dans la même région. Il y a deux réseaux (s) : le premier, placé dans le coin inférieur de gauche, est la traduction de l'équation (s) ; le

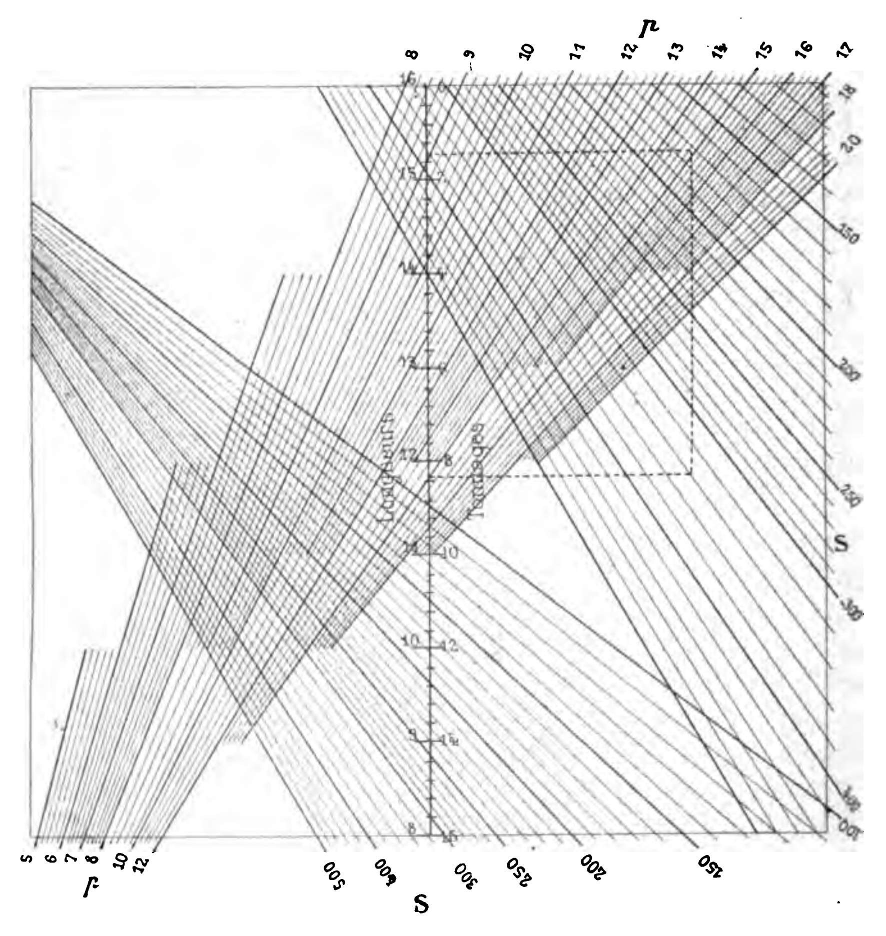
(1) *Étude et graphique de la formule de jauge des Yachts français*, 1894.

JAUGE DES YACHTS

Formule de l'Union des Yachts français :

$$130\,T = \left(L.p - \frac{p^2}{4}\right)\sqrt{S}$$

- T Tonnage de course, en tonneaux
- L Longueur à la flottaison, en mètres
- p Périmètre en mètres
- S Surface de voiture, en mètres carrés



ABAQUE XXXII

Chancel

second, placé dans le coin supérieur de droite, est dû à un *fractionnement* des échelles binaires, imaginé par M. Chancel, et dont nous allons expliquer l'économie très simple sur l'exemple même.

Considérons *(fig. 18)* l'échelle binaire suivant Ox formée du réseau (s) et de la droite cotée T, qui remplace un réseau de parallèles (T). L'échelle T étant régulière, on peut la couper en un point quelconque, T = 16 par exemple, et transporter le point 16 au point 0 : 17 est ainsi transporté en 1, 18 en 2, etc... Dans ce transport, la partie du réseau (s) au dessus de ZZ′ vient en (s_1). Il est donc possible de limiter l'abaque entre Ox et ZZ′, mais, si l'on doit se servir du réseau (s_1), il faudra prendre les valeurs de T données par l'abaque en les augmentant de 16.

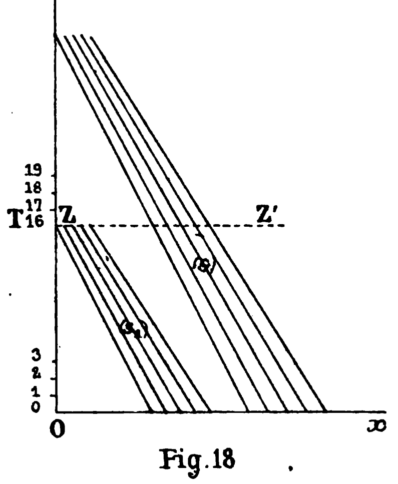


Fig. 18

La proposée peut s'écrire :

$$\frac{\left[(\mu L)(\mu p) - \frac{(\mu p)^2}{4}\right]\sqrt{\nu^2 s}}{130} = \mu^2\nu T,$$

d'où les multiplicateurs μL, μp, $\nu^2 s$, $\mu^2\nu T$. M. Chancel a choisi $\mu = \nu = 2$, d'où $\mu^2\nu = 8$: ce multiplicateur étant simple, il n'est pas nécessaire de donner à (T) une double graduation.

Montrons l'emploi de l'abaque par un exemple. Soient $L = 7{,}62m$, $p = 7{,}43\,m$, $s = 85\,m^2$, valeurs qui ne figurent pas sur l'abaque. On leur substitue $L = 15{,}24$, $p = 14{,}86$, $s = 340$. Puis on pose sur l'abaque un transparent à quadrillage rectangulaire, de façon que l'une des droites de ce quadrillage coïncide avec l'échelle des longueurs et des tonnages. On considère (voir le pointillé tracé sur l'abaque) la parallèle qui passe par $L = 15{,}24$, et l'on prend son intersection avec la droite $p = 14{,}86$: on obtient ainsi le point (L, s) à l'entrecroisement des réseaux de l'échelle binaire. On tourne alors à angle droit, jusqu'à ce qu'on rencontre la droite $s = 340$, en remarquant que cette droite appartient au deuxième réseau (s). On tourne une seconde fois à angle droit, et l'on rencontre l'échelle T au point 8,3, valeur à laquelle il faut ajouter 16, ce qui donne 24,3.

La solution est donc $\frac{24{,}3}{8} = 3{,}04.$

94. — Ainsi, la méthode générale pour construire l'abaque de $F_{12} = F_{34}$ consiste à poser :

$$x = \mathbb{F}_{12}, \quad \text{d'où} \quad \begin{cases} \varphi_1(xy\alpha_1) = 0, & (\alpha_1) \\ \varphi_2(xy\alpha_2) = 0. & (\alpha_2) \end{cases}$$

$$x = \mathbb{F}_{34}, \quad \text{d'où} \quad \begin{cases} \varphi_3(xy\alpha_3) = 0, & (\alpha_3) \\ \varphi_4(xy\alpha_4) = 0. & (\alpha_4) \end{cases}$$

$\varphi_1 = 0$ est arbitraire, et $\varphi_2 = 0$ résulte de l'élimination de α_1 entre $x = \mathbb{F}_{12}$ et $\varphi_1 = 0$. De même pour l'autre groupe.

Les réseaux $\varphi_1 = 0$ et $\varphi_3 = 0$ étant arbitraires, on les formera souvent, comme dans l'abaque XXXII, par des parallèles à Ox. Toutefois, ce choix n'est pas toujours heureux. Ainsi, soit l'équation :

$$(f_1 + f_2)(f_3 + f_4) = k,$$

d'où, en prenant pour les réseaux arbitraires des parallèles à Ox :

$$x = f_1 + f_2 \quad \begin{cases} y = f_1, & (\alpha_1) \\ x = y + f_2, & (\alpha_2) \end{cases}$$

$$x = \frac{k}{f_3 + f_4} \quad \begin{cases} y = f_3, & (\alpha_3) \\ x(y + f_4) = k. & (\alpha_4) \end{cases}$$

Les réseaux (α_1), (α_2), (α_3), sont formés de droites, et le réseau (α_4) d'hyperboles équilatères. Il est préférable de prendre pour réseaux de la deuxième échelle binaire :

$$\begin{cases} xf_3 - y = \lambda k, & (\alpha_3)' \\ xf_4 + y = (1 - \lambda)k. & (\alpha_4)' \end{cases}$$

On a alors 4 réseaux de droites auxquels on peut substituer 4 courbes cotées, ainsi que nous allons le démontrer.

95. — Préoccupé d'étendre aux échelles binaires le bénéfice de la substitution des courbes cotées aux réseaux cotés, nous avons établi ce théorème important :

A toute échelle binaire figurant dans un abaque, et composée de 2 réseaux rectilignes, on peut substituer 2 courbes cotées sans modifier les autres parties de l'abaque.

En effet, considérons cette échelle binaire (qui est une équation à 3 variables) comme formée des 2 réseaux rectilignes (α_1),

(α_2), et d'un 3e réseau $x=d$, composé de parallèles à l'axe auxiliaire Oy. Il s'ensuit que les 3 réseaux :

$$xf_1+y\varphi_1+\psi_1=0, \qquad (\alpha_1)$$

$$xf_2+y\varphi_2+\psi_2=0, \qquad (\alpha_2)$$

$$x \qquad -d=0, \qquad (d)$$

sont concourants, d'où la condition :

$$\begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & \psi_2 \\ 1 & 0 & -d \end{vmatrix}=0,$$

que nous écrivons :

$$\begin{vmatrix} \overset{[t]}{f_1+\lambda\varphi_1} & \overset{[y]}{\varphi_1} & \overset{[x]}{-\psi_1+\lambda'\varphi_1} \\ f_2+\lambda\varphi_2 & \varphi_2 & -\psi_2+\lambda'\varphi_2 \\ 1 & 0 & d \end{vmatrix}=0.$$

Considérons les courbes :

$$\left\{\begin{array}{l} x=\dfrac{-\psi_1+\lambda'\varphi_1}{f_1+\lambda\varphi_1}, \\ y=\dfrac{\varphi_1}{f_1+\lambda\varphi_1}, \end{array}\right. \qquad [\alpha_1]$$

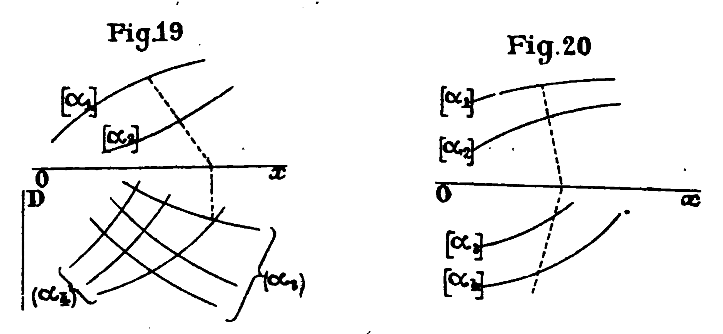
$$\left\{\begin{array}{l} x=\dfrac{-\psi_2+\lambda'\varphi_2}{f_2+\lambda\varphi_2}, \\ y=\dfrac{\varphi_2}{f_2+\lambda\varphi_2}, \end{array}\right. \qquad [\alpha_2]$$

L'alignement de 2 points α_1, α_2 coupe Ox au point $x=d$, c'est-à-dire précisément au point condensé $\alpha_1\ \alpha_2$ de l'échelle binaire : d'où la possibilité de substituer aux réseaux (α_1) (α_2) les courbes [α_1] [α_2] que nous venons de déterminer.

96. — Il en résulte que si les réseaux (α_1) (α_2) sont rectilignes, les réseaux (α_3) (α_4) curvilignes, on peut remplacer les 2 premiers réseaux par 2 courbes cotées; la clef est clairement indiquée par la figure 19.

Si les 4 réseaux sont rectilignes, on peut remplacer l'abaque

à 4 réseaux cotés par un abaque à 4 courbes cotées dans lequel les deux droites d'alignement se couperont sur la droite Ox (*fig. 20*). Ainsi l'abaque XXXII de M. Chancel serait remplacé, au



grand bénéfice de la clarté, par un abaque tel que XLIII, dont nous donnerons plus loin les équations.

M. d'Ocagne a imaginé ce mode de représentation par des considérations toutes différentes, et lui a donné le nom d'*abaque à double alignement*. Nous allons exposer, pour la première fois, la théorie générale des abaques à double alignement, et montrer que ceux de M. d'Ocagne n'en sont qu'une forme particulière; nous donnerons donc à ces derniers un nom spécial, celui d'*abaques à double alignement concourant*.

B. — ABAQUES A RÉSEAUX RECTILIGNES ET ABAQUES CORRÉLATIFS A POINTS ALIGNÉS

I. — Famille d'abaques à réseaux rectilignes (Δ) et famille d'abaques à double alignement [Δ].

97. — *Disjonction des variables.* — Reprenons notre démonstration du n° **91**, en supposant les 4 réseaux rectilignes. Les cylindres (α_1) (α_2) se réduisent à des plans dont les équations ont la forme :

$$xf_1 + y\varphi_1 + zl\varphi_1 + \psi_1 = 0, \qquad [\alpha_1]$$

$$xf_2 + y\varphi_2 + zl\varphi_2 + \psi_2 = 0, \qquad [\alpha_2]$$

En effet, multiplions (α_1) par φ_2, (α_2) par φ_1 et retranchons. On a :

$$x(f_1\varphi_2 - f_2\varphi_1) + (\psi_1\varphi_2 - \psi_2\varphi_1) = 0.$$

Les intersections sont bien parallèles au plan des yz.

De même les cylindres (α_3) et (α_4) se réduisent à des plans ayant pour équations :

$$xf_3 + y\varphi_3 + zm\varphi_3 + \psi_3 = 0, \qquad [\alpha_3]$$

$$xf_4 + y\varphi_4 + zm\varphi_4 + \psi_4 = 0. \qquad [\alpha_4]$$

Par suite, la proposée peut se mettre sous la forme remarquable :

$$D = \begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & l\varphi_1 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & l\varphi_2 & \psi_2 \\ f_3 & \varphi_3 & m\varphi_3 & \psi_3 \\ f_4 & \varphi_4 & m\varphi_4 & \psi_4 \end{vmatrix} = 0.$$

Grâce à cette forme, nous avons pu poursuivre l'analogie avec la théorie que nous avons exposée pour les équations à 3 variables, dans les nos **36** et suivants. Nous avons ainsi établi les propositions qui vont suivre.

98. — *Famille d'abaques homographiques* (Δ) *de l'abaque* (D). — Ici encore, si la disjonction est possible, elle l'est d'une infinité de manières. En effet, considérons le déterminant à 12 paramètres :

$$\delta = \begin{vmatrix} \lambda & \mu & \nu & \rho \\ 0 & \mu' & \nu' & 0 \\ 0 & \mu'' & \nu'' & 0 \\ \lambda''' & \mu''' & \nu''' & \rho''' \end{vmatrix} \neq 0,$$

ce qui suppose $\frac{\lambda}{\lambda'''} \neq \frac{\rho}{\rho'''}$ et $\frac{\mu'}{\mu''} \neq \frac{\nu'}{\nu''}$. Toute solution de $D = 0$ est solution de $\Delta = D\delta = 0$. Or on obtient, en effectuant la multiplication :

$$\begin{matrix} & (x) & (y) & (z) & (t) \\ & [x] & [t] & [z] & [y] \end{matrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} F_1 & \varphi_1 & l'\varphi_1 & \Psi_1 \\ F_2 & \varphi_2 & l'\varphi_2 & \Psi_2 \\ F_3 & \varphi_3 & m'\varphi_3 & \Psi_3 \\ F_4 & \varphi_4 & m'\varphi_4 & \Psi_4 \end{vmatrix} = 0.$$

équation de la même forme que $D = 0$. Elle est donc représentable par une famille (Δ) d'abaques à échelles binaires accolées

à 4 réseaux rectilignes, qui sont homographiques de l'abaque (D).

Remarque. — Chaque ligne du déterminant Δ peut s'écrire :

$$\left| \frac{F_n}{K\varphi_n} \quad 1 \quad d \quad \frac{\Psi_n}{K\varphi_n} \right|$$

d'où, en posant $\frac{F_n}{K\varphi_n} = \chi_n, \frac{\Psi_n}{K\varphi_n} = \zeta_n,$

$$\begin{vmatrix} \chi_1 & \zeta_1 & d & 1 \\ \chi_2 & \zeta_2 & d & 1 \\ \chi_3 & \zeta_3 & d' & 1 \\ \chi_4 & \zeta_4 & d' & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

forme commode dans certaines applications.

99. — *Famille d'abaques à double alignement* [Δ] : 1° *double alignement parallèle.* — Considérons les points x, y, z dont les valeurs sont indiquées symboliquement sur l'équation Δ = o par [x] [y] [z] [t]. Les courbes [α_1] [α_2] sont dans le plan $z = l'$, les courbes [α_3] [α_4] dans le plan $z = m'$; ces plans sont d'ailleurs distincts, comme il est facile de le voir, en raison de la relation $\frac{\mu'}{\mu''} \neq \frac{\nu'}{\nu''}$.
Or, 4 points de cotes α_1, α_2, α_3, α_4 satisfaisant à l'équation Δ = o sont dans un même plan : les droites $\alpha_1\alpha_2$ et $\alpha_3\alpha_4$, intersections de deux plans parallèles par un troisième, sont donc parallèles.

Projetons ces deux plans sur xOy ; nous obtenons une famille [Δ_1] d'abaques à double alignement (*fig. 4*), dont la clef est la suivante : α_1, α_2, α_3 étant donnés, on mène par α_3 une parallèle à α_1 α_2, jusqu'à son intersection avec la courbe [α_4] ; la cote de ce point donne la solution.

Nous retrouvons ainsi, sous sa forme la plus générale, un mode de représentation déjà envisagé par M. M. Beghin, Ingénieur de la Compagnie des chemins de fer départementaux (1). Nous avons donné à ces abaques le nom d'abaques à *double alignement parallèle.* Pour leur lecture, il peut être commode d'employer un transparent sur lequel est tracé un réseau de parallèles, ce qui dispense de l'emploi d'une règle et d'une équerre.

(1) *Génie Civil*, 1892.

Il est visible géométriquement, — et cela résulte d'ailleurs des équations, — que l'on peut déplacer la figure $[\alpha_1]$ $[\alpha_2]$ parallèlement à elle-même, la réduire ou l'amplifier ; de même pour la figure $[\alpha_3]$ $[\alpha_4]$. En outre, on peut donner à Oy une inclinaison quelconque sur Ox. On a donc une grande latitude pour la bonne disposition de l'abaque.

100. — 2° *Double alignement en équerre.* — Faisons tourner la figure $[\alpha_3]$ $[\alpha_4]$ par rapport à la figure $[\alpha_1]$ $[\alpha_2]$ d'un angle β, par exemple de 90°. L'inconnue α_4 se déterminera, pour $\beta = 90°$, en menant par α_3 une perpendiculaire à $\alpha_1 \alpha_2$ (*fig.* 21). Il est commode d'employer un transparent sur lequel sont simplement tracées deux droites perpendiculaires.

Fig. 21

Nous retrouvons ainsi la famille de tous les abaques $[\Delta_2]$ à *double alignement en équerre* déjà envisagés, sous une forme beaucoup moins générale, par le capitaine Goedseels, professeur à l'École de guerre de Bruxelles (1).

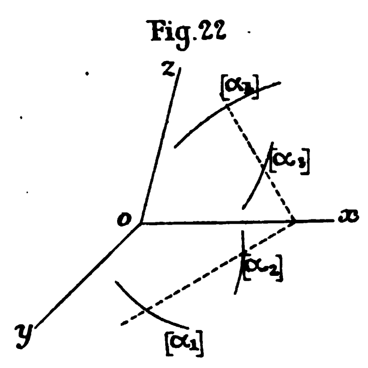
101. — 3° *Double alignement concourant.* — La démonstration du n° **99** suppose qu'aucun des deux plans qui contiennent les courbes n'est à distance infinie, ce qui aurait forcément lieu pour la forme particulière :

$$\begin{array}{cccc} [x] & [y] & [z] & [t] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & 0 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & 0 & \psi_2 \\ f_3 & 0 & \varphi_3 & \psi_3 \\ f_4 & 0 & \varphi_4 & \psi_4 \end{vmatrix} = 0.$$

Cette équation est alors représentable par un abaque à double alignement d'un autre genre. En effet, considérons les points x, y, z indiqués symboliquement sur cette équation. Les courbes $[\alpha_1]$ $[\alpha_2]$ sont dans le plan des xy, les courbes $[\alpha_3]$ $[\alpha_4]$ dans le plan des zx. Le plan déterminé par la solution $(\alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3\, \alpha_4)$ a donc pour traces $\alpha_1 \alpha_2$, $\alpha_3 \alpha_4$ (*fig.* 22), et ces traces se coupent sur Ox.

(1) *Les procédés pour simplifier les calculs ramenés à l'emploi de deux transversales, etc.*, Bruxelles, 1898.

En rabattant le plan zx sur le plan xy, on a l'abaque à *double alignement concourant* de M. d'Ocagne. La méthode générale qui précède donne la famille $[\Delta_3]$ de tous ces abaques. Il n'est pas inutile de remarquer, pour la bonne disposition de l'abaque, que les axes Oy et Oz peuvent avoir sur Ox des inclinaisons quelconques.



Si l'on multiplie le déterminant précédent par le déterminant δ à **12** paramètres du n° **98**, on obtient un déterminant Δ de même forme que celui trouvé alors : *on passe donc ainsi du double alignement concourant au double alignement parallèle.*

Mais si l'on multiplie par le déterminant δ_0 à 10 paramètres :

$$\delta_0 = \begin{vmatrix} \lambda & \mu & \nu & \rho \\ o & \mu' & o & o \\ o & o & \nu'' & o \\ \lambda''' & \mu''' & \nu''' & \rho''' \end{vmatrix} \neq o,$$

on conserve la forme du déterminant générateur, et par conséquent la représentation par double alignement concourant.

102. — Au point de vue géométrique, les abaques $[\Delta_1]$ et $[\Delta_2]$ correspondent au cas où la droite de concours est rejetée à l'infini. Au point de vue analytique, il convient de considérer les abaques $[\Delta_3]$ comme moins généraux, puisqu'ils se déduisent des abaques $[\Delta_1]$ et que leur équation générale contient seulement 10 paramètres arbitraires. Enfin, au point de vue nomographique, nous choisirons de préférence les abaques à double alignement parallèle, ou mieux les abaques à double alignement en équerre, parce qu'on ne risque pas, avec eux, d'avoir le point de concours situé en dehors des limites de l'épure, et qu'ils offrent, comme nous l'avons dit, une très grande latitude pour une bonne disposition. Toutefois, il est des cas où les points de concours sur une droite auxiliaire ont une signification intéressante, et où, par conséquent, il convient de recourir aux abaques $[\Delta_3]$: nous en donnons un exemple à l'abaque XXXV.

103. — *Abaques proportionnels.* — On reconnaîtra peut être à notre théorie le mérite de mettre en lumière la corrélation, au sens géométrique du mot, qui existe entre les abaques à 4 réseaux (Δ) et les abaques à 4 courbes [Δ], de donner l'équation générale de ces abaques, et de synthétiser dans une même formule les procédés de construction trouvés, sous une forme isolée ou beaucoup moins générale, par M. Beghin, par le capitaine Goedseels, et par M. d'Ocagne.

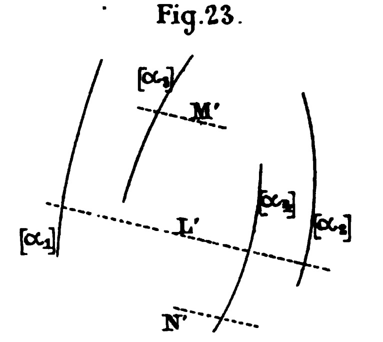
Les abaques à double alignement parallèle, dont on peut faire dériver les abaques à double alignement en équerre et les abaques à double alignement concourant, ne sont eux-mêmes qu'un cas particulier d'une autre classe d'abaques que nous avons rencontrés, et auxquels nous avons donné le nom d'*abaques proportionnels.*

Sous forme de déterminant, leur équation générale, à 12 paramètres variables, est la suivante :

$$\begin{matrix} [x] & [t] & [z] & [y] \end{matrix}$$
$$\begin{vmatrix} F_1 & \Phi_1 & l\Phi_1 & \Psi_1 \\ F_2 & \Phi_2 & l\Phi_2 & \Psi_2 \\ F_3 & \Phi_3 & m\Phi_3 & \Psi_3 \\ F_4 & \Phi_4 & p\Phi_4 & \Psi_4 \end{vmatrix} = 0.$$

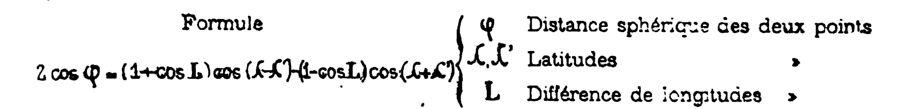
Pour $p = m$, on retrouve le double alignement parallèle.

Les courbes cotées $[\alpha_1]$ et $[\alpha_2]$ sont situées dans le plan $z = l$; la courbe $[\alpha_3]$ dans le plan $z = m$, la courbe $[\alpha_4]$ dans le plan $z = p$. Soit $(\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4)$ une solution de la proposée : le plan qui passe par les 4 points $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4$ coupe les 3 plans ci-dessus suivant 3 parallèles L, M, N. Si donc l'on projette sur le plan $z = 0$ (*fig. 23*), L' est définie par les points α_1 α_2, M' et N sont les parallèles à L', en α_3 et α_4; leurs distances à cette droite sont dans un rapport constant $\frac{l-m}{l-p}$.



Imaginons un transparent sur lequel sont tracés deux réseaux, savoir : 1° en traits pleins, un réseau (*m*) de parallèles distantes de $\lambda(l-m)$, cotées 0, 1, 2, 3 ..., 2° en traits interrompus ou à

DISTANCE SPHÉRIQUE DE DEUX POINTS



Formule

$$2\cos\varphi = (1+\cos L)\cos(\lambda-\lambda') - (1-\cos L)\cos(\lambda+\lambda')$$

- φ Distance sphérique des deux points
- λ, λ' Latitudes »
- L Différence de longitudes »

ABAQUE XXXIII

R. Soreau

l'encre rouge, un réseau (p) de parallèles distantes de $\lambda(l-p)$, et cotées 0, 1, 2, 3..., les droites cotées o étant communes aux deux réseaux. Si α_1 est l'inconnue, on fera passer la droite o par α_1 α_2, on lira la cote de la droite du réseau (m) qui passe par α_3, et la droite de même cote du réseau (p) coupera l'échelle [z_1] au point cherché.

104. — Exemple : *Distance sphérique de deux points (Abaque XXXIII).* — La distance sphérique φ de deux points, en fonction de leurs latitudes λ et λ' et de la différence L de leurs longitudes, est prise sous la forme que lui a donnée M. Collignon, et qui est indiquée sur la légende de l'abaque. Il est bien facile de voir qu'on peut l'écrire :

$$\begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \end{array}\begin{array}{cccc} [y] & [x] & [z] & [t] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} \cos(\lambda-\lambda') & 1 & o & 1 \\ -\cos(\lambda+\lambda') & -1 & o & 1 \\ 2\cos\varphi & o & d & 1 \\ o & 2\cos L & -d & 1 \end{vmatrix} = o,$$

qui est du type de nos abaques proportionnels, avec cette simplification que les deux réseaux du transparent mobile sont symétriques par rapport à la droite commune cotée o.

Comme exemple, prenons la distance sphérique de Paris ($\lambda = 48^\circ 50'$, $L = o$), à Hanoï ($\lambda = 23^\circ 40'$, $L = 116^\circ$ par rapport au méridien de Paris). Les lignes en pointillé, qui représentent les parallèles utiles du transparent, donnent $\varphi = 87^\circ 30'$.

105. — Grâce à la mise des équations sous la forme d'un déterminant, on pourra étendre aux abaques proportionnels ou à double alignement les méthodes de généralisation appliquées déjà aux abaques à alignement simple : c'est ce que nous montrerons au chapitre suivant. La nouvelle théorie du double alignement est donc d'une grande fécondité.

Du reste, dans ses grandes lignes, elle suit celle que nous avons développée pour le cas de $F_{123} = o$, et les propositions énoncées alors se reproduisent. Ainsi la construction géométrique (**40**) pour déduire un abaque [Δ] d'un abaque (Δ) s'applique intégralement : il suffit, dans un abaque à entrecroisement (D) de l'équation $F_{1234} = o$, de considérer le réseau auxiliaire $x = d$, pour obtenir immédiatement, par la transformation géométrique, un abaque [D] de la famille [Δ_3].

Les conséquences de l'homographie et de la corrélation, indiquées au nº **42**, se retrouvent encore.

Si un réseau (α_n) de (Δ) est formé de droites concourantes, la courbe $[\alpha_n]$ de $[\Delta]$ est une droite. Nous sommes donc conduit à étendre la notion des degrés et de l'ordre nomographiques aux équations $F_{1234} = 0$ représentables par les abaques (Δ) ou $[\Delta]$, et à généraliser ainsi notre règle du nº **44**.

Pour que la disjonction des variables de l'équation $F_{1234} = 0$ *puisse se faire à l'aide de* $f_1 f_2 \ldots \psi_4$, *il faut que les 4 degrés nomographiques soient égaux à 1, et que l'ordre nomographique* p *soit compris entre 4 et 8,*

$$4 \leqslant p \leqslant 8.$$

Les abaques à double alignement ont alors (8 — p*) échelles rectilignes. Mais ces conditions ne sont pas suffisantes.*

106. — *Conditions de groupement.* — Pour que la proposée $F_{1234} = 0$ soit représentable par un abaque à double alignement, il faut tout d'abord, comme nous l'avons démontré au nº **90**, qu'elle puisse s'écrire :

$$F_{12} = F_{34},$$

équation dont la forme la plus générale est, pour des degrés nomographiques égaux à 1,

$$\frac{m\chi_1\chi_2 + a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + n}{MX_1X_2 + A_1X_1 + A_2X_2 + N} = \frac{p\chi_3\chi_4 + a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + q}{PX_3X_4 + A_3X_3 + A_4X_4 + Q}. \quad (1)$$

Ainsi que nous le verrons sur l'équation d'ordre 4, l'identification de $F_{1234} = 0$ avec (1) n'est généralement possible que si les coefficients de la proposée satisfont à certaines conditions, que nous appelons *conditions de groupement* des variables $\alpha_1\alpha_2$, $\alpha_3\alpha_4$.

107. — *Conditions de disjonction; méthode pour l'opérer.* — La séparation en deux groupes étant effectuée, il faut en outre et il suffit qu'on puisse opérer la disjonction de chacune des équations à 3 variables $\alpha_1\alpha_2\alpha$, $\alpha_3\alpha_4\alpha$, obtenues en égalant à α chacun des membres de l'équation (1).

Ces deux équations étant au plus d'ordre 5, si l'on connaissait les K conditions de disjonction de l'équation à 3 variables d'ordre 5, on connaitrait les 2K conditions de disjonction de l'équation générale (1), conditions nécessaires et qui sont d'ailleurs suffisantes. En effet, les équations en $\alpha_1\alpha_2\alpha$, $\alpha_3\alpha_4\alpha$, sont alors représentables par deux abaques à entrecroisement ayant en com-

mun l'échelle binaire $x = \alpha$. Il suffira de transformer les déterminants générateurs de ces abaques à entrecroisement par notre méthode du n° **95** pour obtenir deux déterminants générateurs d'abaques à alignement accolés suivant Ox. De ces deux déterminants on déduira le déterminant générateur d'un abaque à double alignement concourant sur Ox, et la disjonction sera ainsi opérée.

Comme variante de cette méthode, il sera commode d'opérer comme suit :

1° Effectuer d'une façon quelconque, par les procédés connus, la disjonction de l'équation en $\alpha_1\alpha_2\alpha$,

$$\begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & \psi_2 \\ a\alpha + b & c\alpha + d & e\alpha + f \end{vmatrix} = 0;$$

2° Multiplier par un déterminant δ à paramètres variables $\lambda\mu\nu\ldots$, qu'on choisira de façon à mettre l'équation ci-dessus sous la forme :

$$\begin{matrix} [x] & [y] & [t] \end{matrix}$$
$$\begin{vmatrix} F_1 & \Phi_1 & \Psi_1 \\ F_2 & \Phi_2 & \Psi_2 \\ l\alpha & 0 & m \end{vmatrix} = 0,$$

ce qui est toujours possible, car cela revient à déplacer l'abaque dans le plan des xy, de façon que l'échelle $[\alpha]$ soit sur l'axe Ox et ait son origine en O. Le plus souvent, si l'on n'obtient pas cette forme par la disjonction même, il suffira, pour l'avoir, d'ajouter certaines colonnes multipliées par des paramètres convenables;

3° Opérer de même sur l'équation en $\alpha_3\alpha_4\alpha$, ce qui donne un déterminant analogue, ayant pour troisième ligne :

$$\begin{vmatrix} l'\alpha & 0 & m' \end{vmatrix}$$

4° Multiplier la première colonne de ce dernier déterminant par $\frac{l}{l'}$, la troisième par $\frac{m}{m'}$, d'où finalement :

$$\begin{matrix} [x] & [z] & [t] \end{matrix}$$
$$\begin{vmatrix} F_3 & \Phi_3 & \Psi_3 \\ F_4 & \Phi_4 & \Psi_4 \\ l\alpha & 0 & m \end{vmatrix} = 0.$$

On a alors la disjonction suivante de l'équation à 4 variables :

$$\begin{array}{cccc} [x] & [y] & [z] & [t] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} F_1 & \Phi_1 & o & \Psi_1 \\ F_2 & \Phi_2 & o & \Psi_2 \\ F_3 & o & \Phi_3 & \Psi_3 \\ F_4 & o & \Phi_4 & \Psi_4 \end{vmatrix} = o.$$

Remarque I. — Pour la formation de ce déterminant, il n'est pas nécessaire de s'inquiéter d'avoir des termes différents de zéro dans les colonnes [t] des deux déterminants qui le composent.

Remarque II. — Si la disjonction n'est possible que pour l'une des équations en $\alpha_1\alpha_2\alpha$, $\alpha_3\alpha_4\alpha$, on ne peut remplacer les réseaux des abaques à entrecroisement par des courbes cotées que pour l'un des abaques : on obtient alors, si l'on juge utile de faire la substitution, une disposition comme celle de la figure 19.

108. — Exemples. — 1° Soit l'équation à 4 variables d'ordre 4 :

$$\chi_1\chi_2\chi_3\chi_4 - (a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b)(a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + c) = o.$$

Les conditions de groupement sont toujours satisfaites, car on peut l'écrire :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{\chi_1\chi_2} = \frac{\chi_3\chi_4}{a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + c}.$$

D'autre part, les conditions de disjonction sont toujours satisfaites, car l'équation :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{\chi_1\chi_2} = \alpha,$$

peut s'écrire :

$$\begin{vmatrix} o & \chi_1 & 1 \\ \chi_2 & -b & a_1 \\ 1 & a_2 & \alpha \end{vmatrix} = o.$$

La disjonction de l'équation en $\alpha_3\alpha_4\alpha$ peut également être toujours effectuée, puisque sa forme ne diffère de la précédente

que par le changement de α en $\frac{1}{\alpha}$. Écrivons le déterminant qui précède :

$$\begin{array}{ccc} [y] & [t] & [x] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} -\chi_1 & \frac{\chi_1}{a_2} & 1 \\ a_2\chi_2 + b & -\frac{b}{a_2} & a_1 \\ 0 & 1 & \alpha \end{vmatrix} = 0. \qquad (1)$$

On a donc pour l'équation en $\alpha_3\alpha_4\alpha$:

$$\begin{array}{ccc} [z] & [x] & [t] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} -\chi_3 & \frac{\chi_3}{a_4} & 1 \\ a_4\chi_4 + c & -\frac{c}{a_4} & a_3 \\ 0 & \alpha & 1 \end{vmatrix} = 0. \qquad (2)$$

Avec ces équations (1) et (2), on obtient la disjonction :

$$\begin{array}{cccc} [x] & [y] & [z] & [t] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} 1 & -\chi_1 & 0 & \frac{\chi_1}{a_2} \\ a_1 & a_2\chi_2 + b & 0 & -\frac{b}{a_2} \\ \frac{\chi_3}{a_4} & 0 & -\chi_3 & 1 \\ -\frac{c}{a_4} & 0 & a_4\chi_4 + c & a_3 \end{vmatrix} = 0.$$

d'où l'on pourra déduire, par nos méthodes, des familles d'abaques homographiques à double alignement concourant, parallèle ou en équerre.

2° La disjonction de :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{\chi_1\chi_2} = \frac{a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + c}{\chi_3\chi_4}$$

s'obtiendrait avec deux équations de la forme (1) du cas précédent, ce qui donne :

$$\begin{vmatrix} 0 & a_1\chi_1 & 0 & a_1a_2 \\ a_2\chi_2 & a_2\chi_2 + b & 0 & -a_1a_2 \\ 0 & 0 & a_3\chi_3 & a_3a_4 \\ a_4\chi_4 & 0 & a_4\chi_4 + b & -a_3a_4 \end{vmatrix} = 0.$$

3° La disjonction de :

$$f_1 + f_2 + Kf_1f_2 = f_3 + f_4 + lf_3f_4$$

résultera de l'accouplement de deux abaques de Lalanne ; à cet effet, écrivons le premier déterminant du n° **73** :

$$\begin{vmatrix} f_1 & -1 & 0 \\ f_2 & 1 + Kf_2 & 1 \\ \alpha & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

On a donc :

$$\begin{vmatrix} f_1 & -1 & 0 & 0 \\ f_2 & 1 + Kf_2 & 0 & 1 \\ f_3 & 0 & -1 & 0 \\ f_4 & 0 & 1 + lf_4 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

On pourrait aisément multiplier les exemples.

109. — De ce qui précède il résulte qu'en associant les abaques à alignement à 3 variables déjà étudiés :

$F_{12} = \alpha$ d'ordre p' compris entre 3 et 5,
$F_{34} = \alpha$ id. p'' id.

on obtient des formes d'équations à 4 variables représentables par des abaques à double alignement d'ordre $p = p' + p'' - 2$, compris entre 4 et 8, ainsi que nous l'avons déjà établi **(105)**.

Les groupements $(\alpha_1\alpha_2)$ $(\alpha_3\alpha_4)$ étant supposés effectués, l'équation (1) du n° **106** donne la forme la plus générale de ces équations.

110. — L'un des cas particuliers les plus intéressants, qui comprend lui-même les cas les plus fréquents dans les applications, est le suivant, que nous avons rencontré :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{A_1X_1 + A_2X_2 + B} = \frac{a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + c}{A_3X_3 + A_4X_4 + C}.$$

Il est remarquable que *la disjonction des équations de cette forme est toujours possible*. En effet, on peut l'écrire :

$$\begin{vmatrix} a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b & A_1X_1 + A_2X_2 + B \\ a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + c & A_3X_3 + A_4X_4 + C \end{vmatrix} = 0.$$

d'où :

$$\begin{vmatrix} a_1\chi_1 & 1 & 0 & A_1X_1 \\ a_2\chi_2 + b & -1 & 0 & A_2X_2 + B \\ a_3\chi_3 & 0 & 1 & A_3X_3 \\ a_4\chi_4 + c & 0 & -1 & A_4X_4 + C \end{vmatrix} = 0,$$

car il suffit d'ajouter la 1re ligne à la 2e, la 3e à la 4e pour obtenir le déterminant primitif.

Cette disjonction est facile à retenir. Nous en ferons un fréquent usage.

Suivant que 4, 3, 2, 1 ou 0 des fonctions X_1, X_2, X_3, X_4 sont des constantes ou des fonctions linéaires des fonctions correspondantes χ_1, χ_2, χ_3, χ_4, l'équation est d'ordre 4, 5, 6, 7 ou 8, c'est-à-dire a 4, 3, 2, 1 ou 0 courbes cotées rectilignes.

Du déterminant précédent, qui donne un abaque à double alignement concourant, on déduit de suite l'abaque à double alignement parallèle ou en équerre :

$$\begin{vmatrix} a_1\chi_1 & A_1X_1 & 0 & 1 \\ -(a_2\chi_2 + b) & -(A_2X_2 + B) & 0 & 1 \\ a_3\chi_3 & A_3X_3 & 1 & 1 \\ -(a_4\chi_4 + c) & -(A_4X_4 + C) & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

II. — Équations d'ordre 4.

a) *Théorie générale.*

111. — Les abaques à double alignement, s'ils existent, sont composés de 4 échelles rectilignes.

De même que nous avons donné la théorie complète de l'équation générale à 3 variables d'ordre 3 représentable par des abaques à alignement simple, de même nous allons, en nous basant sur les résultats établis, donner la théorie complète de l'équation générale à 4 variables d'ordre 4 représentable par des abaques à double alignement.

L'homogénéité étant détruite, cette équation est :

$$l\chi_1\chi_2\chi_3\chi_4 + \Sigma a_1\chi_2\chi_3\chi_4 + \Sigma b_{12}\chi_1\chi_2 + \Sigma c_1\chi_1 + k = 0.$$

112. — *Conditions de groupement.* — Il faut d'abord chercher à quelles conditions on peut grouper les variables $\alpha_1\alpha_2$, $\alpha_3\alpha_4$. Pour cela, la méthode consiste à identifier la proposée avec la forme générale (1) du nº **106**, dans laquelle on prendrait $X_n = \chi_n$. On obtient ainsi 16 équations pour déterminer les 16 paramètres $la_1a_2...k$ en fonction des coefficients de la proposée. On pourrait donc croire que le problème est toujours possible : mais, en l'examinant de près, on s'aperçoit que les 16 équations du système ne sont compatibles qu'à certaines conditions.

C'est ce que nous allons indiquer sommairement sur le cas le plus général, où l'on a $l \neq o$. Pour bien mettre ces conditions en évidence, formons encore l'équation en X, en posant :

$$\chi_n = X_n - \frac{a_n}{l}.$$

Les termes du 3ᵉ degré par rapport aux fonctions X disparaissent, et l'on a l'équation en X :

$$LX_1X_2X_3X_4 + \Sigma B_{12}X_1X_2 + \Sigma C_1X_1 + K = o,$$

qu'il s'agit d'identifier avec :

$$\frac{mX_1X_2 + a_1X_1 + a_2X_2 + n}{MX_1X_2 + A_1X_1 + A_2X_2 + N} = \frac{pX_3X_4 + a_3X_3 + a_4X_4 + q}{PX_3X_4 + A_3X_3 + A_4X_4 + Q}.$$

Le système des 16 équations est alors :

$$mP - Mp = L \qquad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} a_1P - A_1p &= o \\ a_2P - A_2p &= o \\ a_3M - A_3m &= o \\ a_4M - A_4m &= o \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

$$\left.\begin{aligned} mQ - Mq &= B_{12} \\ nP - Np &= B_{34} \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

$$\left.\begin{aligned} a_1A_3 - A_1a_3 &= B_{13} \\ a_1A_4 - A_2a_4 &= B_{14} \\ a_2A_3 - A_2a_3 &= B_{23} \\ a_2A_4 - A_2a_4 &= B_{24} \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

$$\left.\begin{aligned} a_1Q - A_1q &= C_1 \\ a_2Q - A_2q &= C_2 \\ a_3N - A_3n &= -C_3 \\ a_4N - A_4n &= -C_4 \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

$$nQ - Nq = K \qquad (6)$$

Des équations (2) on tire :

$$\frac{A_1}{a_1} = \frac{A_2}{a_2} = \frac{P}{p} = \pi,$$

$$\frac{A_3}{a_3} = \frac{A_4}{a_4} = \frac{M}{m} = \mu,$$

d'où, en substituant dans les équations (4) et (5), et en posant par analogie $\frac{N}{n} = \nu$, $\frac{Q}{q} = \varkappa$.

$$\left.\begin{array}{l} a_1a_3(\mu - \pi) = B_{13} \\ a_1a_4(\mu - \pi) = B_{14} \\ a_2a_3(\mu - \pi) = B_{23} \\ a_2a_4(\mu - \pi) = B_{24} \end{array}\right\} (4)' \qquad \left.\begin{array}{l} a_1q(\varkappa - \pi) = C_1 \\ a_2q(\varkappa - \pi) = C_2 \\ a_3n(\mu - \nu) = C_3 \\ a_4n(\mu - \nu) = C_4 \end{array}\right\} (5)'$$

Il est donc nécessaire qu'il existe entre les coefficients de l'équation en X les relations de condition :

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{B_{12}}{B_{23}} = \frac{B_{14}}{B_{24}},$$

$$\frac{C_3}{C_4} = \frac{B_{31}}{B_{41}} = \frac{B_{32}}{B_{42}}.$$

Avec $l = o$, on obtiendrait des conditions analogues. Il n'y a aucun intérêt à insister sur ce point : nous voulions simplement mettre en garde contre cette déduction erronée que les 16 équations fournissaient toujours les 16 valeurs des paramètres qui permettent les groupements des fonctions en $\alpha_1\alpha_2$ d'une part, en $\alpha_3\alpha_4$ d'autre part.

113. — *Conditions de disjonction.* — Les conditions de groupement étant remplies et ce groupement effectué, l'équation générale d'ordre 4 prend alors la forme :

$$\frac{m\chi_1\chi_2 + a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + n}{M\chi_1\chi_2 + A_1\chi_1 + A_2\chi_2 + N} = \frac{p\chi_3\chi_4 + a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + q}{P\chi_3\chi_4 + A_3\chi_3 + A_4\chi_4 + Q}.$$

Il s'agit maintenant d'opérer la disjonction des deux équations à 3 variables d'ordre 3 : $F_{12} = x$, $F_{34} = x$; il faut donc, d'après le n° **55**, qu'on ait :

$$(mN - nM)^2 + (a_1A_2 - a_2A_1)^2 - 2(mN + nM)(a_1A_2 + a_2A_1)$$
$$+ 4(a_1a_2MN + A_1A_2mn) > o,$$

$$(pQ - qP)^2 + (a_3A_4 - a_4A_3)^2 - 2(pQ + qP)(a_3A_4 + a_4A_3)$$
$$+ 4(a_3a_4PQ + A_3A_4pq) > o.$$

Ces équations sont toujours satisfaites, comme on sait, pour :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + n}{A_1\chi_1 + A_2\chi_2 + N} = \frac{a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + q}{A_3\chi_3 + A_4\chi_4 + Q},$$

cas particulier de l'équation d'ordre 8 du n° **110**, pour laquelle, d'ailleurs, la disjonction est toujours possible.

Elles sont toujours satisfaites également pour les équations :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + n}{M\chi_1\chi_2} = \frac{a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + q}{P\chi_3\chi_4},$$

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + n}{M\chi_1\chi_2} = \frac{p\chi_3\chi_4}{A_3\chi_3 + A_4\chi_4 + Q}.$$

Nous avons opéré la disjonction de ces deux dernières comme exemples du n° **108**.

Les conditions de disjonction se réduisent à :

$$a_1a_2MN > o,$$

$$a_3a_4PQ > o \text{ (ou } A_3A_4pq > o),$$

pour les équations :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2}{M\chi_1\chi_2 + N} = \frac{a_3\chi_3 + a_4\chi_4}{P\chi_3\chi_4 + Q}\left(\text{ou } \frac{p\chi_3\chi_4 + q}{A_3\chi_3 + A_4\chi_4}\right).$$

114. — *Conditions d'existence de deux familles* Δ_c, Δ_t. — Nous avons établi (nos **50** et suivants) que l'équation générale à 3 variables d'ordre 3 admet deux familles distinctes Δ_c, Δ_t d'abaques homographiques qui comprennent tous les abaques à alignement par lesquels on peut représenter la proposée.

Existe-t-il de même deux familles distinctes pour l'équation générale à 4 variables d'ordre 4? Ou ces familles n'existent-elles qu'à certaines conditions? C'est ce que nous allons examiner.

Prenons encore les transformées en X des équations en α, α_1, α_2 et en α, α_3, α_4 :

$$XX_1X_2 + BX + B_1X_1 + B_2X_2 + N = o,$$

$$X'X_3X_4 + B'X' + B_3X_3 + B_4X_4 + N' = o.$$

Soient $\mathfrak{D}$ le discriminant de l'équation en α, α_1, α_2, $\mathfrak{D}'$ le discriminant de l'équation en α, α_3, α_4.

1° Si l'on a $\mathfrak{D} > o$, $\mathfrak{D}' > o$, les transformées en X peuvent se mettre sous la forme (A) du n° **51** ; on a ainsi deux équations (A) et (A') dont l'anamorphose logarithmique donne deux abaques à 3 échelles parallèles. Mais l'accolement de ces abaques ne peut se faire, et par suite la seconde famille Δ_c ne peut exister, que si les fonctions en α des deux équations (A) et (A') sont identiques, à un facteur près. Or, il résulte des changements de fonctions effec-

tués pour obtenir les équations en X que ces fonctions en α sont de la forme algébrique :

$$\frac{S\alpha + T}{U\alpha + V}, \qquad \frac{S'\alpha + T'}{U'\alpha + V'},$$

d'où les conditions :

$$\frac{S}{S'} = \frac{T}{T'} = \frac{U}{U'} = \frac{V}{V'}$$

Ces conditions nécessaires sont d'ailleurs suffisantes. En effet, divisons membre à membre les équations (A) et (A'); nous obtenons une expression de la forme :

$$f_1 f_2 = f_3 f_4,$$

où chaque fonction f_n est elle-même de la forme algébrique :

$$\frac{S_n \chi_n + T_n}{U_n \chi_n + V_n}.$$

Rien n'est plus facile alors que de passer à la famille Δ_c par anamorphose logarithmique :

$$\log f_1 + \log f_2 = \log f_3 + \log f_4 ;$$

2° Si l'on a $\mathfrak{D} = o$, $\mathfrak{D}' = o$, les transformées en X peuvent se mettre sous l'une des formes (B) [ou (C)] du n° **52**; on en déduit, par anamorphose exponentielle, deux abaques à échelles non concourantes; mais leur accolement ne peut se faire, et par suite la seconde famille Δ_t ne peut exister, que si les fonctions en α des deux équations (B) et (B') sont identiques, à un facteur près.

En formant ces fonctions en α, on a des conditions analogues aux précédentes.

Ces conditions nécessaires sont d'ailleurs suffisantes. En effet, divisons membre à membre les équations (B) et (B'); nous obtenons une expression de la forme :

$$f_1 + f_2 = f_3 + f_4,$$

où chaque fonction f_n est de la forme algébrique déjà indiquée La famille Δ_t s'obtient alors par anamorphose exponentielle :

$$e^{f_1} e^{f_2} = e^{f_3} e^{f_4}.$$

3° Supposons $\mathfrak{D} > o$, $\mathfrak{D}' = o$, ou inversement. La variable auxiliaire α entre dans les secondes familles d'abaques par une fonction logarithmique pour la première équation, et par une

fonction exponentielle pour la deuxième : l'accolement est alors impossible, et l'équation à 4 variables n'admet qu'une famille.

En résumé, *les deux familles n'existent que dans des conditions particulières, qui supposent implicitement que la proposée puisse être ramenée à l'une des formes :*

$$f_1 f_2 = f_3 f_4,$$

$$f_1 + f_2 = f_3 + f_4.$$

Ces formes ont donc, pour l'équation générale à 4 variables d'ordre 4, le même rôle que :

$$f_1 f_2 f_3 = 1,$$

$$f_1 + f_2 + f_3 = 0,$$

pour l'équation générale à 3 variables d'ordre 3. C'est pourquoi nous leur donnerons aussi le nom de *formes canoniques.*

On pourra, dans certains cas particuliers, voir immédiatement si la proposée peut se ramener aux formes canoniques. Notre méthode de la transformée en X permet, d'ailleurs, de résoudre le problème dans le cas général, en opérant comme il vient d'être dit.

115. — Exemple : Ainsi, soit l'équation :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{A_1\chi_1 + A_2\chi_2 + B} = \frac{a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + c}{A_3\chi_3 + A_4\chi_4 + C}.$$

1° Supposons $\mathfrak{D} > 0$, $\mathfrak{D}' > 0$, d'où : $\frac{a_1}{A_1} \neq \frac{a_2}{A_2}$, $\frac{a_3}{A_3} \neq \frac{a_4}{A_4}$. En appliquant la méthode du n° **51**, et en remplaçant les fonctions X par les fonctions primitives $\alpha, \chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4$, on décompose la proposée en deux équations équivalentes contenant la variable auxiliaire α :

$$\frac{a_2B - A_2b - (a_1A_2 - A_1a_2)\chi_1}{a_1B - A_1b + (a_1A_2 - A_1a_2)\chi_2} = \frac{A_2\alpha - a_2}{A_1\alpha - a_1}$$

$$\frac{a_4C - A_4c - (a_3A_4 - A_3a_4)\chi_3}{a_3C - A_3c + (a_3A_4 - A_3a_4)\chi_4} = \frac{A_4\alpha - a_4}{A_3\alpha - a_3}$$

Pour que les deux familles existent, il faut donc qu'on ait :

$$\frac{a_1}{a_3} = \frac{a_2}{a_4} = \frac{A_1}{A_3} = \frac{A_2}{A_4},$$

La proposée se met alors sous la forme canonique :

$$\frac{a_2B - A_2b - (a_1A_2 - A_1a_2)\chi_1}{a_1B - A_1b + (a_1A_2 - A_1a_2)\chi_2} = \frac{a_4C - A_4c - (a_3A_4 - A_3a_4)\chi_3}{a_3C - A_3c + (a_3A_4 - A_3a_4)\chi_4}.$$

2° Supposons $\mathfrak{D} = o$, $\mathfrak{D}' = o$, d'où $\frac{a_1}{A_1} = \frac{a_2}{A_2} = \frac{1}{\lambda}$, $\frac{a_3}{A_3} = \frac{a_4}{A_4} = \frac{1}{\mu}$.

On trouve alors directement :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{\lambda(a_1\chi_1 + a_2\chi_2) + B} = \frac{a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + c}{\mu(a_3\chi_3 + a_4\chi_4) + C}.$$

On voit ici, sans autres calculs, que la condition d'existence des deux familles est $\lambda = \mu$. On a alors la forme canonique :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{B - \lambda b} = \frac{a_3\chi_3 + a_4\chi + c}{C - \lambda c}.$$

116. — Examinons maintenant d'une façon plus spéciale, et surtout au point de vue du tracé des abaques les plus simples, les équations d'ordre 4 qui se rencontrent le plus souvent dans la pratique. Nous considérerons tout d'abord les formes canoniques :

$$f_1 + f_2 = f_3 + f_4, \qquad (1)$$

$$f_1f_2 = f_3f_4. \qquad (2)$$

Puis, nous étudierons l'équation :

$$(f_1 + f_2)(f_3 + f_4) = K, \qquad (3)$$

déjà envisagée au n° **94**, et d'où l'on déduit, par la considération des fonctions inverses :

$$(f_1 + f_2)(f_3 + f_4) = Kf_1f_2, \qquad (3)'$$

et

$$(f_1 + f_2)(f_3 + f_4) = Kf_1f_2f_3f_4. \qquad (3)''$$

Enfin nous terminerons par :

$$f_1 = f_2(f_3 + f_4), \qquad (4)$$

qu'on peut écrire :

$$f_3 + f_4 = f_1\frac{1}{f_2},$$

équation de la forme assez fréquente :

$$f_1 = f_2 + f_3f_4. \qquad (4)'$$

b) Forme $\mathrm{f}_1 + \mathrm{f}_2 = \mathrm{f}_3 + \mathrm{f}_4$.

117. — Tous les abaques à double alignement susceptibles de représenter la proposée sont donnés par les deux équations génératrices distinctes :

$$\begin{vmatrix} f_1 & 1 & 0 & 0 \\ f_2 & -1 & 0 & 1 \\ f_3 & 0 & 1 & 0 \\ f_4 & 0 & -1 & 1 \end{vmatrix} = 0 \qquad \begin{vmatrix} 1 & e^{f_1} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & e^{f_2} \\ 1 & 0 & e^{f_3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & e^{f_4} \end{vmatrix} = 0,$$

qu'on déduit facilement des équations à 3 variables $f_1 + f_2 = \alpha$, $e^{f_1}e^{f_2} = \alpha$ par la méthode du n° **107.**

Nous n'examinerons ici que les abaques les plus remarquables. Nous considérerons seulement dans ce paragraphe ceux qui dérivent de la première équation génératrice. Ceux qui résultent de la deuxième seront examinés lors de l'étude directe de la forme $f_1f_2 = f_3f_4$.

118. — *Double alignement parallèle et double alignement en équerre.* —L'équation proposée peut s'identifier avec :

$$\begin{vmatrix} l_1f_1 & x_1 & 0 & 1 \\ l_2f_2 & x_2 & 0 & 1 \\ l_3f_3 & x_3 & d & 1 \\ l_4f_4 & x_4 & d & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

qui donne immédiatement un abaque à double alignement parallèle composé de 4 droites parallèles. En effet, cette dernière équation peut s'écrire :

$$\frac{l_1f_1 - l_2f_2}{x_1 - x_2} = \frac{l_3f_3 - l_4f_4}{x_3 - x_4}.$$

L'identification donne :

$$l_2 = -l_1,$$
$$l_4 = -l_3,$$
$$\frac{x_1 - x_2}{l_1} = \frac{x_3 - x_4}{l_3}.$$

Les écartements des échelles $[\alpha_1][\alpha_2]$ d'une part, $[\alpha_3][\alpha_4]$ de l'autre, sont dans le rapport des modules, ce qui était évident *a priori* puisqu'on peut amplifier indépendamment les deux figures formées par chaque groupe d'échelles.

Ayant obtenu ces 4 échelles parallèles, faisons tourner l'une des figures de 90° par rapport à l'autre : nous avons un abaque formé de 4 droites dessinant un rectangle. Avec cette disposition, qui n'exige que 2 droites rectangulaires sur le transparent mobile, les droites de même groupe sont clairement indiquées, puisque ce sont les côtés opposés du rectangle. Dans les abaques à double alignement parallèle ou concourant, au contraire, il convient d'indiquer sur l'abaque même, comme nous le faisons, quelles échelles sont associées.

119. — *Double alignement concourant.* — La proposée peut aussi s'identifier avec :

$$\begin{vmatrix} l_1 f_1 & x_1 & 0 & 1 \\ l_2 f_2 & x_2 & 0 & 1 \\ l_3 f_3 & 0 & x_3 & 1 \\ l_4 f_4 & 0 & x_4 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

immédiatement représentable par un abaque à double alignement concourant qui comporte 4 droites cotées et 1 droite auxiliaire non cotée, toutes parallèles entre elles. L'identification donne :

$$\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} = \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l_4},$$

et les distances $x_1\, x_2\, x_3\, x_4$ des échelles $[\alpha_1]\,[\alpha_2]$ d'une part, $[\alpha_3]\,[\alpha_4]$ d'autre part, à la droite auxiliaire, satisfont aux relations :

$$\frac{x_1}{x_2} = -\frac{l_1}{l_2},$$

$$\frac{x_3}{x_4} = -\frac{l_3}{l_4}.$$

Si l_1 et l_2 sont de même signe, les échelles $[\alpha_1]$ et $[\alpha_2]$ sont de part et d'autre de la droite auxiliaire; s'ils sont de signes contraires, les échelles sont du même côté.

On pourrait déduire immédiatement cet abaque particulier du n° 59, en posant :

$$f_1 + f_2 = f,$$

$$f_3 + f_4 = f.$$

La première équation est représentable par l'abaque :

$$u_1 = l_1 f_1, \qquad [\alpha_1]$$

$$u_2 = l_2 f_2, \qquad [\alpha_2]$$

$$u = lf,$$

avec
$$\frac{1}{l} = \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2},$$

et
$$\frac{x_1}{x_2} = -\frac{l_1}{l_2}.$$

De même la seconde est représentable par l'abaque :

$$u_3 = l_3 f_3, \qquad [\alpha_3]$$

$$u_4 = l_4 f_4, \qquad [\alpha_4]$$

$$u = l'f,$$

avec
$$\frac{1}{l'} = \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l_4},$$

et
$$\frac{x_3}{x_4} = -\frac{l_3}{l_4}.$$

Prenons $l = l'$: les échelles $u = lf$, $u = l'f$ sont confondues et il n'est pas nécessaire de les coter. On retrouve les conditions précédentes.

Pour que les longueurs utiles L_1 et L_2 des échelles u_1 et u_2 soient égales, il faut que l'on ait, avec les signes :

$$l_1 L_1 = l_2 L_2,$$

d'où :
$$\frac{L_1}{\frac{1}{l_1}} = \frac{L_2}{\frac{1}{l_2}} = \frac{L_1 + L_2}{\frac{1}{l}}.$$

De même, pour que les longueurs utiles L_3 et L_4 soient égales, il faut que :

$$\frac{L_3}{\frac{1}{l_3}} = \frac{L_4}{\frac{1}{l_4}} = \frac{L_3 + L_4}{\frac{1}{l}}.$$

Toutes ces longueurs utiles seraient égales si l'on avait en outre :

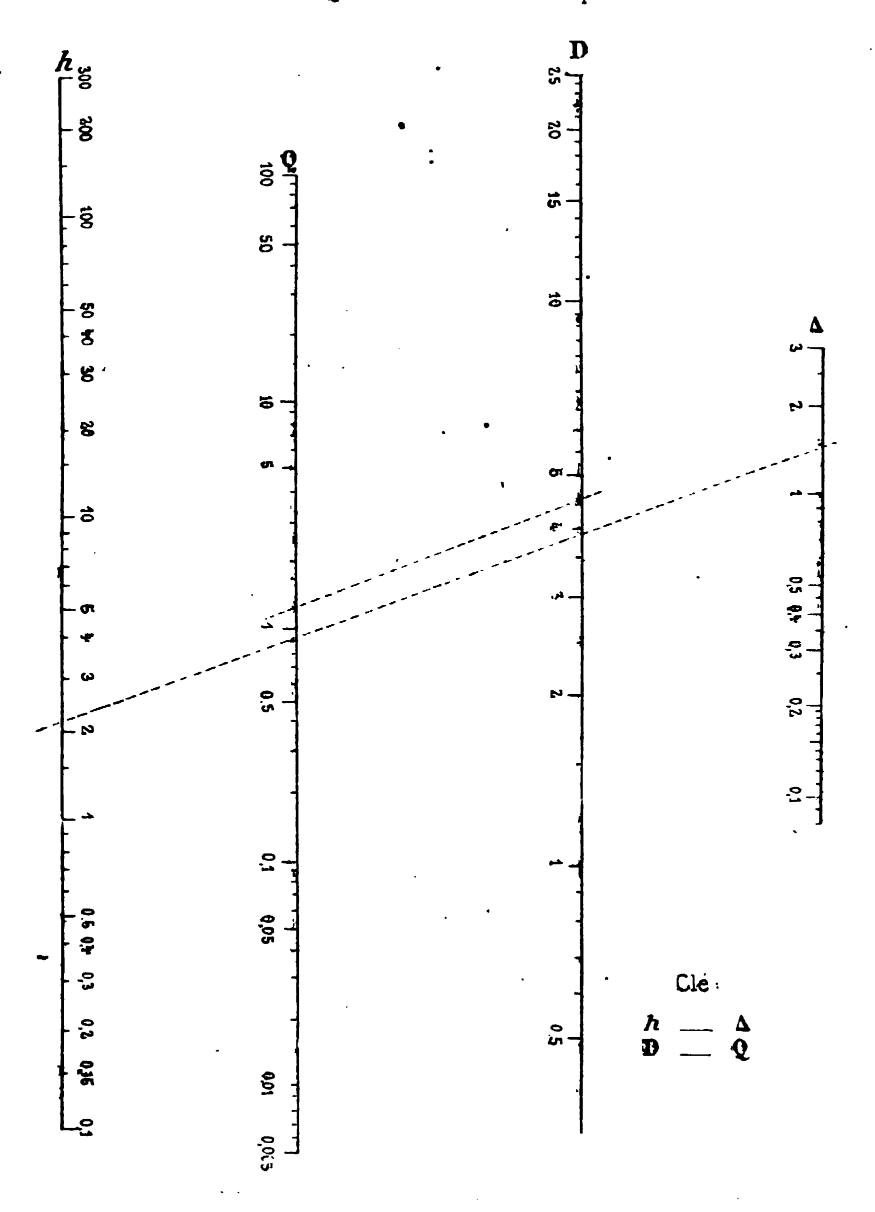
$$L_1 + L_2 = L_3 + L_4,$$

ÉCOULEMENT DES GAZ PAR DES TUYAUX

Formule de M. F. Gaud

$hD^5 = 1655\,\Delta Q^2$

- h Perte de charge kilométrique, en millimètres d'eau
- D Diamètre du tuyau, en centimètres
- Δ Poids du mètre cube de gaz, en kg.
- Q Débit en mètres cubes par heure



ABAQUE XXXIV *R. Soreau*

120. — EXEMPLES : 1° *Écoulement des gaz par les tuyaux (Abaque XXXIV).* — La formule de M. F. Gaud (1), indiquée sur la légende, se ramène à la forme :

$$f_1 + f_2 = f_3 + f_4$$

par anamorphose logarithmique.

Les limites usuelles des variables sont :

Pour h,	0,1	et	300,	d'où :	$\log h - \log h' = 3{,}477$
— D,	0,5		25,	—	$5(\log D - \log D') = 8{,}49$
— Δ,	0,08		3,	—	$\log \Delta - \log \Delta' = 1{,}577$
— Q,	0,005		100,	—	$2(\log Q - \log Q') = 8{,}60$

1° *Abaque à double alignement parallèle.* — Nous avons construit, en XXXIV, un abaque à double alignement parallèle.

Associons les valeurs D et Q pour lesquelles les parties utiles des échelles rectilignes ont sensiblement la même longueur, et amplifions la figure (h, Δ) de façon que la plus grande échelle, soit [h], atteigne sensiblement la longueur des deux autres échelles [D] et [Q] qui lui sont parallèles, longueur que nous prendrons voisine de 130 *mm*, eu égard aux dimensions de la feuille. En arrondissant les coefficients ainsi trouvés, on obtient :

$$75(\log D - \log D') = 127{,}5 \; mm$$
$$30(\log Q - \log Q') = 129$$
$$40(\log h - \log h') = 139$$
$$40(\log \Delta - \log \Delta') = 63$$

Le rapport d'amplification des figures (h, Δ) et (D, Q) est $\frac{40}{15}$. En prenant 100 *mm* pour la distance des échelles [h] et [Δ], on a 37,5 *mm* pour la distance des échelles [Q] et [D]. Il suffit maintenant de coter trois origines quelconques de ces échelles, afin

(1) *Bulletin de la Société technique de l'Acétylène*, 2e année, 1898. Il est équitable de remarquer que cette expression n'est pas nouvelle ; c'est ainsi que, depuis plus de quinze années, la *Deutsche Continental-Gas-Gesellschaft*, à la suite de nombreuses expériences, a adopté la formule :

$$Q = 0{,}6658 D^2 \sqrt{\frac{hD}{l\delta}},$$

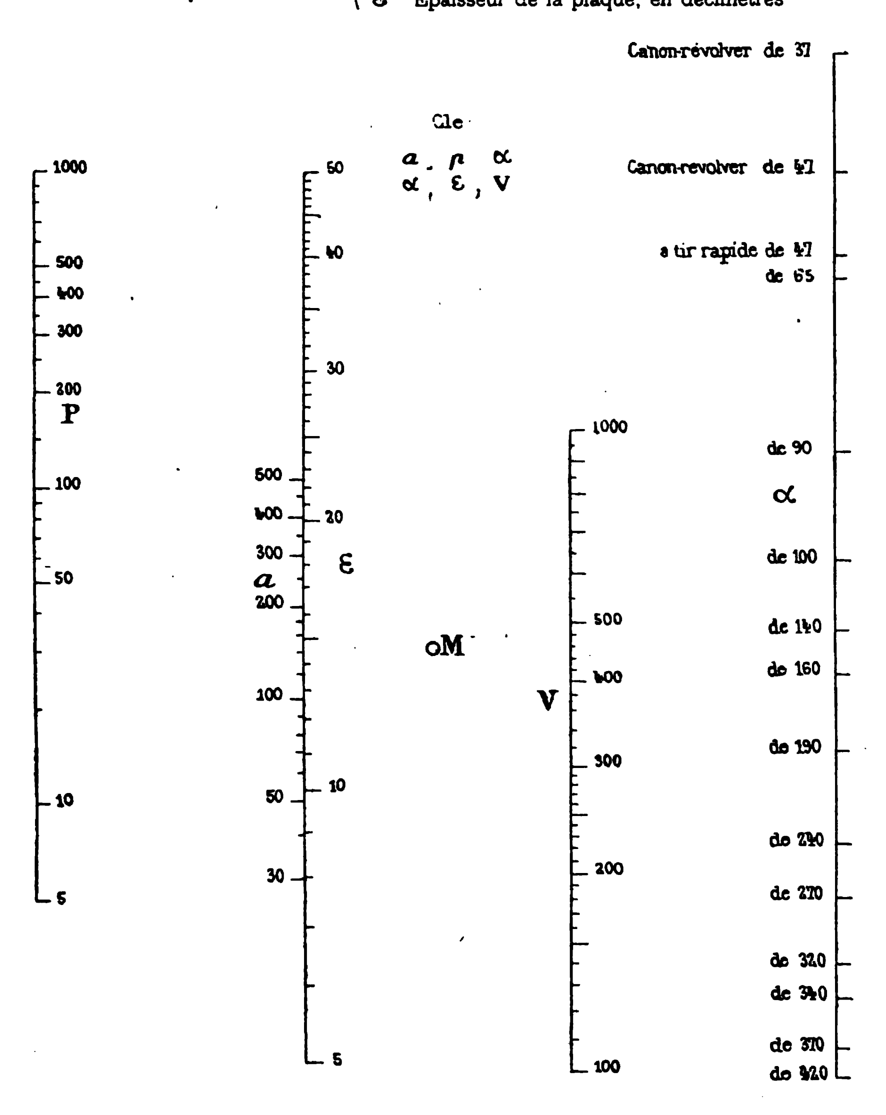
où h est la perte de charge pour la longueur l mètres, et δ la densité des gaz par rapport à l'air. En ramenant les variables aux mêmes unités que dans la formule de M. Gaud, on a l'expression analogue :

$$hD^5 = 1750 \Delta Q^2.$$

VITESSE DE PERFORATION DES PLAQUES DE BLINDAGE

Formule Jacob de Marre :
$V = 1530 \frac{a^{0.75}}{P^{0.5}} \varepsilon^{0.7}$

V Vitesse du projectile, en mètres
P Poids du projectile, en kg.
a Diamètre du projectile, en décimètres
ε Épaisseur de la plaque, en décimètres



ABAQUE XXXV

R. Soreau

de réintroduire la constante de l'équation. Nous avons pris le système $D = 1$, $Q = h = 300$, qui donne immédiatement $\Delta = 1,81$.

Les positions des index en pointillé montrent que, pour $h = 2,3$, $\Delta = 1,5$; $D = 4,6$, l'abaque donne la solution $Q = 1,25$.

2° *Abaque à double alignement concourant.* — M. d'Ocagne a construit, pour la même équation, un abaque par sa méthode du du double alignement concourant.

Si les modules sont tous positifs, la droite auxiliaire est placée entre les droites qui composent chaque groupe. Pour que, dans chaque groupe (h,D) (Δ,Q), les longueurs utiles soient égales, il faut qu'on ait :

pour le premier groupe :

$$l_1 = \frac{11,96}{3,47}\,l, \qquad l_2 = \frac{11,96}{8,49}\,l;$$

pour le deuxième groupe :

$$l_3 = \frac{10,17}{1,57}\,l, \qquad l_4 = \frac{10,17}{8,6}\,l.$$

En arrondissant ces nombres, tout en conservant les relations nécessaires :

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} = \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l_4},$$

M. d'Ocagne a adopté :

$$l_1 = \frac{7}{2}\,l, \qquad l_2 = \frac{7}{5}\,l, \qquad l_3 = 6\,l, \qquad l_4 = \frac{6}{5}\,l.$$

Les distances des échelles à la droite auxiliaire sont alors telles que :

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{5}{2}, \qquad \frac{x_3}{x_4} = 5.$$

Il suffit dès lors de prendre pour l, et pour la grandeur absolue des écartements, des valeurs suivant la hauteur et la largeur de la feuille dont on dispose.

C'est ainsi qu'a été construit l'abaque que l'on trouvera à la page 226 du *Traité* de M. d'Ocagne.

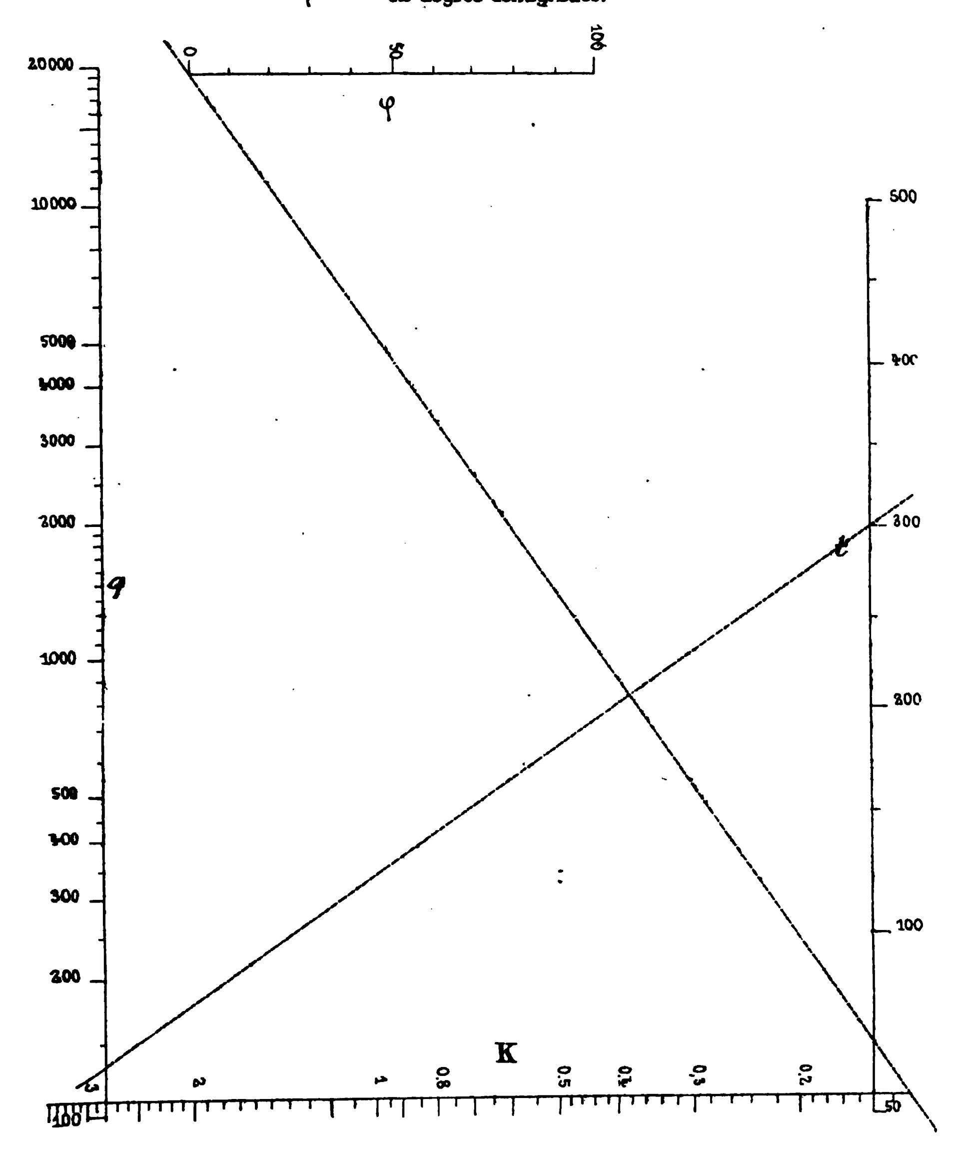
121. — 2° *Vitesse de perforation des plaques de blindage (Abaque XXXV).* — Voici, du reste, un exemple d'abaque à double alignement concourant.

CHALEUR ÉMISE PAR RAYONNEMENT

Formule :

$$q = 124{,}72\,K a^{\varphi} f(\varphi)(a^{t}-1)$$

- q Quantité de chaleur émise par m² et par heure, en calories.
- K Coefficient dépendant de la nature de la surface.
- φ Température du milieu ambiant en degrés centigrades.
- t Différence de temp. du corps et de la temp. du milieu, en degrés centigrades.



ABAQUE XXXVI

R. Soreau.

La formule Jacob de Marre, que nous avons considérée précédemment comme fonction de 3 variables, peut être considérée comme fonction des 4 variables V, ε, a et p.

Il convient d'adopter un abaque à double alignement concourant, parce qu'on peut marquer sur la droite de concoursl es points figuratifs des canons usuels avec projectiles de poids déterminé, ce qui dispense de tracer la droite (ap) : on retrouve alors l'abaque XIV.

Si le canon n'est pas figuré, ou si le poids du projectile qu'il tire est modifié, il faudra recourir aux échelles $[a]$ $[p]$.

Les projectiles de perforation étant sensiblement de même forme et de même métal, on a entre le calibre et le poids la relation approchée :

$$p = \mathrm{K}a^{\frac{3}{2}}.$$

Il existe donc une relation linéaire approchée entre log p et log a ; par suite, les alignements (a, p) passent sensiblement par un point fixe, que nous avons marqué en M.

122. — 3° *Chaleur émise par rayonnement (Abaque XXXVI).* — Voici un exemple de la disposition avec double alignement en équerre :

La quantité de chaleur émise par rayonnement est donnée par la formule inscrite à la légende de l'abaque, formule dans laquelle a est une constante, égale à 1,0077, et $f(\varphi)$ un coefficient correctif de K quand φ diffère de 15° C. La fonction $f(\varphi)$ a les valeurs suivantes :

φ	0°	10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
$f(\varphi)$	0,89	0,961	1,00	1,04	1,12	1,21	1,31	1,41	1,52	1,65	1,78	1,92

Les principales valeurs de K ont été déterminées par Péclet ; ce sont, pour les métaux :

Argent poli	0,13
Cuivre rouge	0,16
Étain	0,215
Zinc	0,24
Laiton poli	0,258
Tôle (fer noir) polie	0,45
Tôle ordinaire	2,77
Fonte de fer neuve.	3,17
Tôle et fonte de fer oxydées. . .	3,36

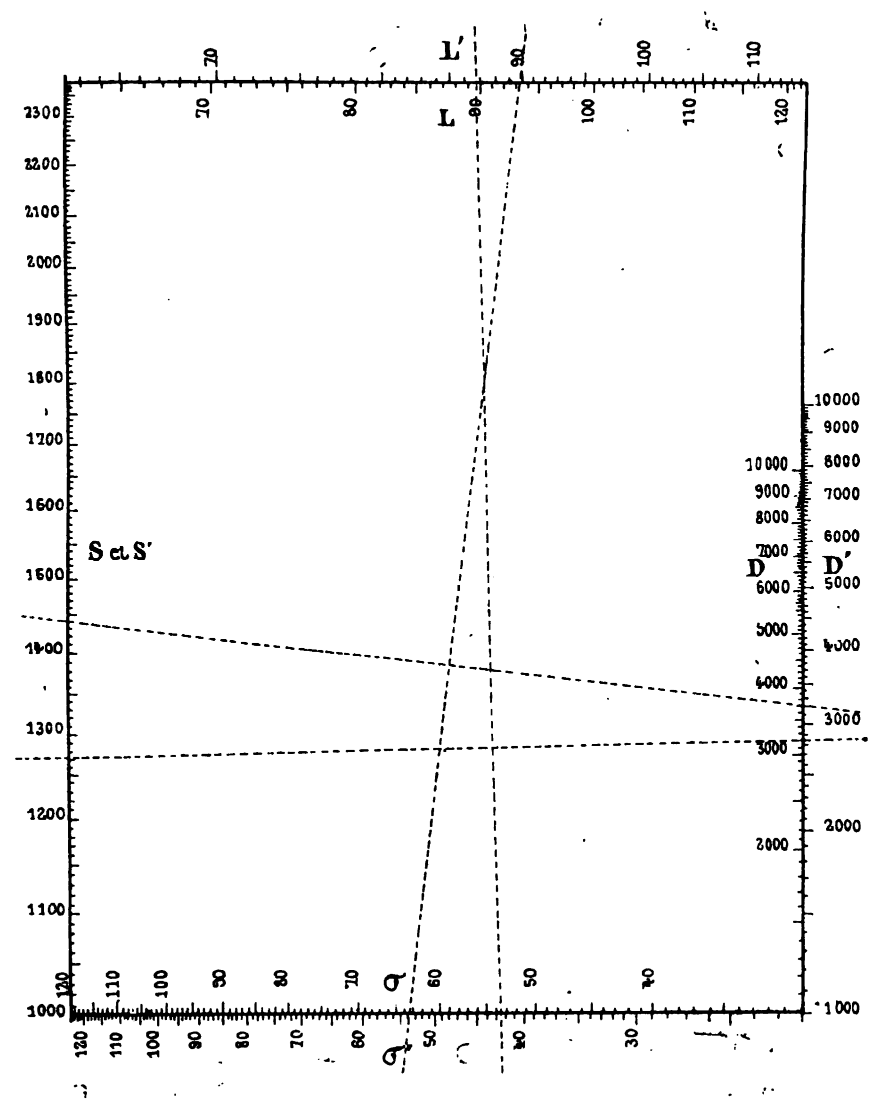
SURFACE RÉELLE ET SURFACE RÉDUITE DES NAVIRES

Formules de M. Dudebout

$$S = 2.8044\, D^{\frac{2}{5}} L^{\frac{2}{5}} \sigma^{\frac{1}{5}}$$

$$S' = 2{,}4235\, D^{\frac{1}{4}} L^{\frac{1}{4}} \sigma^{\frac{1}{2}}$$

S Surface réelle, en mètres carrés
S' Surface réduite, en mètres carrés
L Longueur du navire, en mètres
σ Aire immergée du maître-couple, en mètres carrés
D Déplacement du navire, en tonneaux



ABAQUE XXXVII *R. Soreau*

Pour représenter cette formule, nous avons disposé les échelles suivant un rectangle, en portant sur les côtés opposés :

$$\begin{cases} u_1 = 60 \log q \\ u_2 = 60 \log (a^t - 1), \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_3 = 80 \log K \\ u_4 = 80 \log \left[a\varphi f(\varphi)\right]. \end{cases}$$

Le rectangle a pour côtés 100 *mm* et 133,33 *mm*, de sorte que $\frac{100}{133,33} = \frac{60}{80}$.

Pour déterminer la position relative des échelles, nous avons pris $t = 300°$ C, $\varphi = 0°$, $K = 0,13$, d'où $q = 130$.

Remarque. — On voit qu'il n'est pas nécessaire, pour construire un abaque, de connaître l'expression analytique des fonctions : il suffit de savoir quel est le support de chaque échelle, et alors un tableau de résultats d'expériences permet de le graduer. C'est ainsi que, connaissant le support de l'échelle $[\varphi]$, nous avons pu en établir la graduation à l'aide du tableau qui donne $f(\varphi)$.

On aura parfois à utiliser cette remarque pour certaines formules de Mécanique appliquée.

123. — 4° *Surface réelle et surface réduite d'un navire (Abaque XXXVII).* — Aux anciennes formules de Rankine, amiral Bourgois, J.-A. Normant et Dupré, M. Dudebout, Ingénieur de la Marine, a substitué des formules qui s'appliquent remarquablement aux cuirassés modernes, même de types différents, puisque l'erreur relative n'atteint pas 5 0/0.

Afin d'éviter toute confusion dans l'association des échelles, nous avons eu recours, pour représenter les deux formules, à un abaque en équerre : les échelles associées sont alors sur les côtés opposés d'un rectangle, et chaque côté a pu ainsi recevoir deux graduations, l'une à l'intérieur du rectangle pour la formule de la surface réelle, l'autre à l'extérieur pour la formule de la surface réduite.

(1) J. Pollard et A. Dudebout, *Théorie du Navire* (tome III), 1892.

Les échelles sont proportionnelles à :

$$u_1 = 2 \log S \qquad u'_1 = 2 \log S'$$

$$u_2 = 2 \times \frac{2}{9} \log D = \frac{4}{9} \log D \qquad u'_2 = 2 \times \frac{1}{4} \log D' = \frac{1}{2} \log D'$$

$$u_3 = 3 \times \frac{2}{3} \log L = 2 \log L \qquad u'_3 = 3 \times \frac{3}{4} \log L' = \frac{9}{4} \log L'$$

$$u_4 = 3 \times \frac{1}{3} \log \sigma = \log \sigma \qquad u'_4 = 3 \times \frac{1}{4} \log \sigma' = \frac{3}{4} \log \sigma'$$

L'abaque a été construit en multipliant toutes ces échelles par 200 *mm*.

Le rapport des côtés du rectangle doit être $\frac{2}{3}$; nous avons pris 100 *mm* pour le petit et 150 *mm* pour le grand.

Les positions des index en pointillé correspondent au *Duguay-Trouin*, pour lequel on a $L = 89{,}80\,m$, $\sigma = 53{,}60\,m^2$, $D = 3\,189$ *tx*. Avec l'abaque on trouve :

$$S = 1\,270\ m^2, \qquad S' = 1\,438\ m^2.$$

Des mesures directes sur le navire ont donné 1 436 m^2 pour la surface réduite.

c) Forme $f_1 f_2 = f_3 f_4$.

124. — Tous les abaques à double alignement susceptibles de représenter cette équation sont donnés par les équations génératrices :

$$\begin{vmatrix} 1 & f_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & f_2 \\ 1 & 0 & f_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & f_4 \end{vmatrix} = 0, \qquad \begin{vmatrix} \log f_1 & 1 & 0 & 0 \\ \log f_2 & -1 & 0 & 1 \\ \log f_3 & 0 & 1 & 0 \\ \log f_4 & 0 & -1 & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

La deuxième famille comprend l'abaque à échelles parallèles, mode de représentation des mieux disposés, et dont nous venons de faire usage dans les exemples ci-dessus.

Toutefois, de même que nous avons trouvé intérêt, notamment en vue des généralisations ultérieures, à obtenir un mode de représentation direct de l'équation $f_1 f_2 f_3 = 1$ sans recourir à l'anamorphose logarithmique (**64**), de même il convient de chercher à représenter $f_1 f_2 = f_3 f_4$ par des fonctions algébriques de f_1, f_2, f_3, f_4.

125. — *Abaque à double alignement parallèle et abaque à double alignement en équerre.* — On a immédiatement un abaque à double alignement parallèle en portant sur deux angles quelconques AOB, A′O′B′, à côtés parallèles, des échelles :

$$u_1 = l_1 f_1 \text{ suivant OA,}$$
$$u_2 = l_2 f_2 \quad \text{id.} \quad \text{OB,}$$
$$u_3 = m l_1 f_3 \quad \text{id.} \quad \text{O'A',}$$
$$u_4 = m l_2 f_4 \quad \text{id.} \quad \text{O'B'.}$$

Si l'on fait tourner A′O′B′ de 90°, cet abaque se transforme en un abaque à double alignement en équerre.

Dans ce cas, quand les deux angles sont de 90° et qu'on accole OA et O′B′, l'abaque à index a des supports en T, avec deux graduations sur la branche I : on obtient ainsi, avec une extrême simplicité, un type d'abaques trouvé plus laborieusement par le capitaine Goedseels (1).

126. — Exemples : *Résistance des terrains à la compression. (Abaque XXXVIII).* — La formule de Rankine permet de calculer la plus forte charge que l'on peut imposer à un terrain dont on connaît la densité et l'angle de frottement, pour une profondeur donnée des fondations. Elle peut s'écrire :

$$\frac{P}{H} = \frac{d}{f(\varphi)},$$

formule que nous avons représentée par un abaque en T à double alignement en équerre.

Les valeurs de φ varient dans les limites suivantes :

Terre ordinaire.	15 à 45°
Argile mouillée	17 à 20°
Argile humide.	45°
Sable sec, mélange d'argile et de terre.	21 à 37°
Cailloux et graviers	39 à 48°
Terrains très tassés.	60°

La position en pointillé des index correspond à $H = 5m$, $d = 2^T$, $\varphi = 30°$: on trouve $P = 50^T$ par m^2, ou $5kg$ par cm^2.

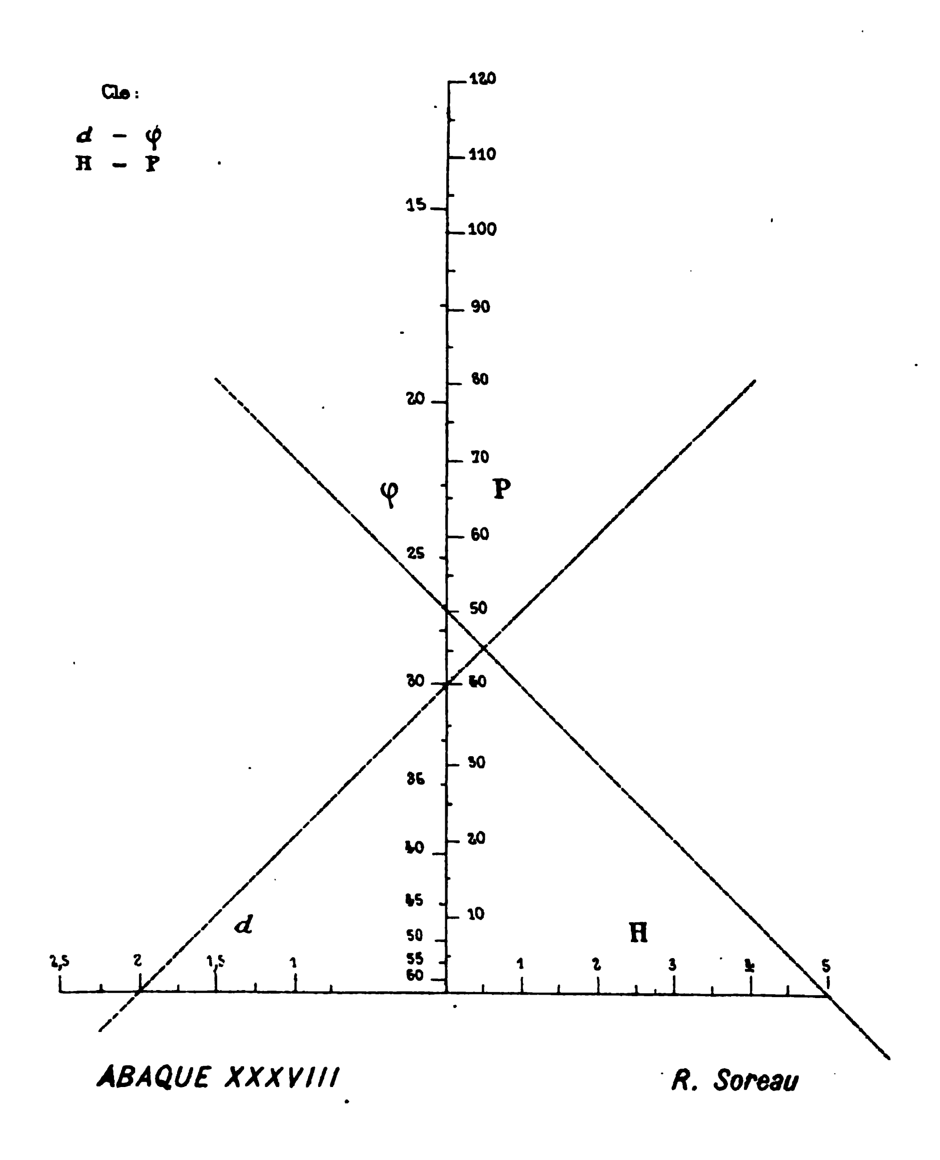
(1) *Les procédés pour simplifier les calculs*... (loc. cit.), et *Traité de M. d'Ocagne* (abaque des levers tachéométriques de M. Goedseels, p. 239).

RÉSISTANCE DES TERRAINS A LA COMPRESSION

Formule de Rankine

$$P = dH \frac{1 + \sin^2 \varphi}{(1 - \sin \varphi)^2}$$

- P . Charge, en tonnes par m²
- H Profondeur des fondations, en mètres
- d Poids de la terre, en tonnes par m³
- φ Angle de frottement du terrain



127. — 2° *Tolérance dans les cheminements d'un levé goniométrique. (Abaque XXXIX).* Soit ε l'erreur moyenne, exprimée en fonction du rayon, qui est commise sur la mesure de l'angle de chacun des n cotés d'un cheminement, dans un levé goniométrique. Au lieu d'un cheminement rectiligne, on a donc une ligne brisée, et la résultante ε_A des n erreurs ε peut s'écrire approximativement(1):

$$\varepsilon_A = \varepsilon L \sqrt{\frac{(n+\frac{1}{2})(n+1)}{3n}},$$

L étant, en *km*, la distance des points extrêmes du cheminement.

En pratique, on exprime l'erreur totale en mètres, l'erreur sur chaque côté en grades $\omega = \frac{200}{\pi}\varepsilon$, et l'on accepte comme tolérance τ le double de l'erreur totale admissible. On a ainsi :

$$\tau = 10\pi\omega L \sqrt{\frac{(n+\frac{1}{2})(n+1)}{3n}}.$$

En multipliant chacun des termes par des coefficients, de façon à avoir des longueurs convenables pour les échelles, tout en conservant l'égalité ci-dessus, nous avons pris en millimètres :

$$\frac{20\tau}{400\pi\omega} = \frac{100L}{200\sqrt{\frac{3n}{(n+\frac{1}{2})(n+1)}}}.$$

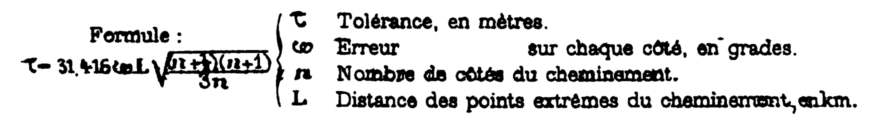
Nous avons ainsi construit l'abaque XXXIX, où [L] est gradué de 1 à 10 *km*, de façon qu'on puisse appliquer facilement le principe des multiplicateurs correspondants. En effet, si l'on a L = 8 *hm*, on prendra le point L = 8 *km*, et la valeur lue pour τ devra être divisée par 10.

Ainsi, soient L = 8*hm*, $n = 20$, $\omega = 0^G,02$; l'abaque donne $\tau = 13,5$ *m*; la valeur cherchée est donc 1,35 *m*. La résolution de l'équation donnerait 1,347 *m*.

(1) E. Prévot. — *Topographie*, livre II, 1900 (Bibliothèque BCTP).

TOLÉRANCE DANS LES CHEMINEMENTS

d'un levé goniométrique



Formule :

$$\tau = 31.416\,\omega L\sqrt{\frac{(n+2)(n+1)}{3n}}$$

- τ Tolérance, en mètres.
- ω Erreur sur chaque côté, en grades.
- n Nombre de côtés du cheminement.
- L Distance des points extrêmes du cheminement, en km.

Clé.

L — n

ω — τ

n : 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50

τ : 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60

ω : G 0.05, 0.04, 0.03, 0.02, G 0.01, 0

L : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

ABAQUE XXXIX *R. Soreau*

d) Formes $(f_1 + f_2)(f_3 + f_4) = K$, *ou* Kf_1f_2, *ou* $Kf_1f_2f_3f_4$.

128. — *Double alignement parallèle.* — La première forme, à laquelle se ramènent les deux autres, peut s'identifier avec :

$$\begin{vmatrix} l_1f_1 & x_1 & d & 1 \\ l_2f_2 & x_2 & d & 1 \\ x_3 & l_3f_3 & d_1 & 1 \\ x_4 & l_4f_4 & d_1 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

qui donne immédiatement un abaque à double alignement parallèle composé de 4 droites formant rectangle si les axes de coordonnées sont à 90°.

En effet, on en déduit :

$$(l_1f_1 - l_2f_2)(l_3f_3 - l_4f_4) = (x_1 - x_2)(x_3 - x_4).$$

L'identification conduit à poser :

$$l_2 = -l_1,$$
$$l_4 = -l_3,$$
$$(x_1 - x_2)(x_3 - x_4) = l_1l_3.$$

C'est la disposition d'échelles du n° **118** avec la clef du n° **117**.

129. — *Double alignement en équerre.* — Faisons tourner l'une des figures de 90°; nous obtenons un abaque à droites parallèles, avec un index en équerre sur le transparent : c'est la disposition d'échelles du n° **117** avec la clef du n° **118**.

e) Formes $f_1 = f_2(f_3 + f_4)$ *et* $f_1 = f_2 + f_3f_4$.

130. — *Double alignement parallèle; abaque en Z.* — La première équation, à laquelle se ramène la seconde, peut s'écrire :

$$\begin{matrix} [x] & [v] & [z] & [t] \end{matrix}$$
$$\begin{vmatrix} f_1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & f_2 & 0 & 1 \\ f_3 & 0 & 1 & 1 \\ f_4 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

On a donc les échelles :

$u_1 = l_1 f_1$ suivant l'axe des x,

$u_2 = l_2 f_2$ — — y,

$u_3 = l_1 f_3$ — — x,

$u_4 = - l_1 f_4$ suivant une parallèle à l'axe des x, à la distance $y = l_2$.

Amplifions la figure $(u_3 u_4)$ dans le rapport $\frac{l_3}{l_1}$. Nous obtenons ainsi les échelles :

$u_1 = l_1 f_1$ suivant l'axe des x,

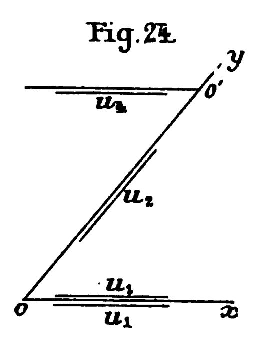
$u_2 = l_2 f_2$ — — y,

$u_3 = l_3 f_3$ — — x,

$u_4 = - l_3 f_4$ — une parallèle à l'axe des x, à la distance $y = \frac{l_2 l_3}{l_1}$.

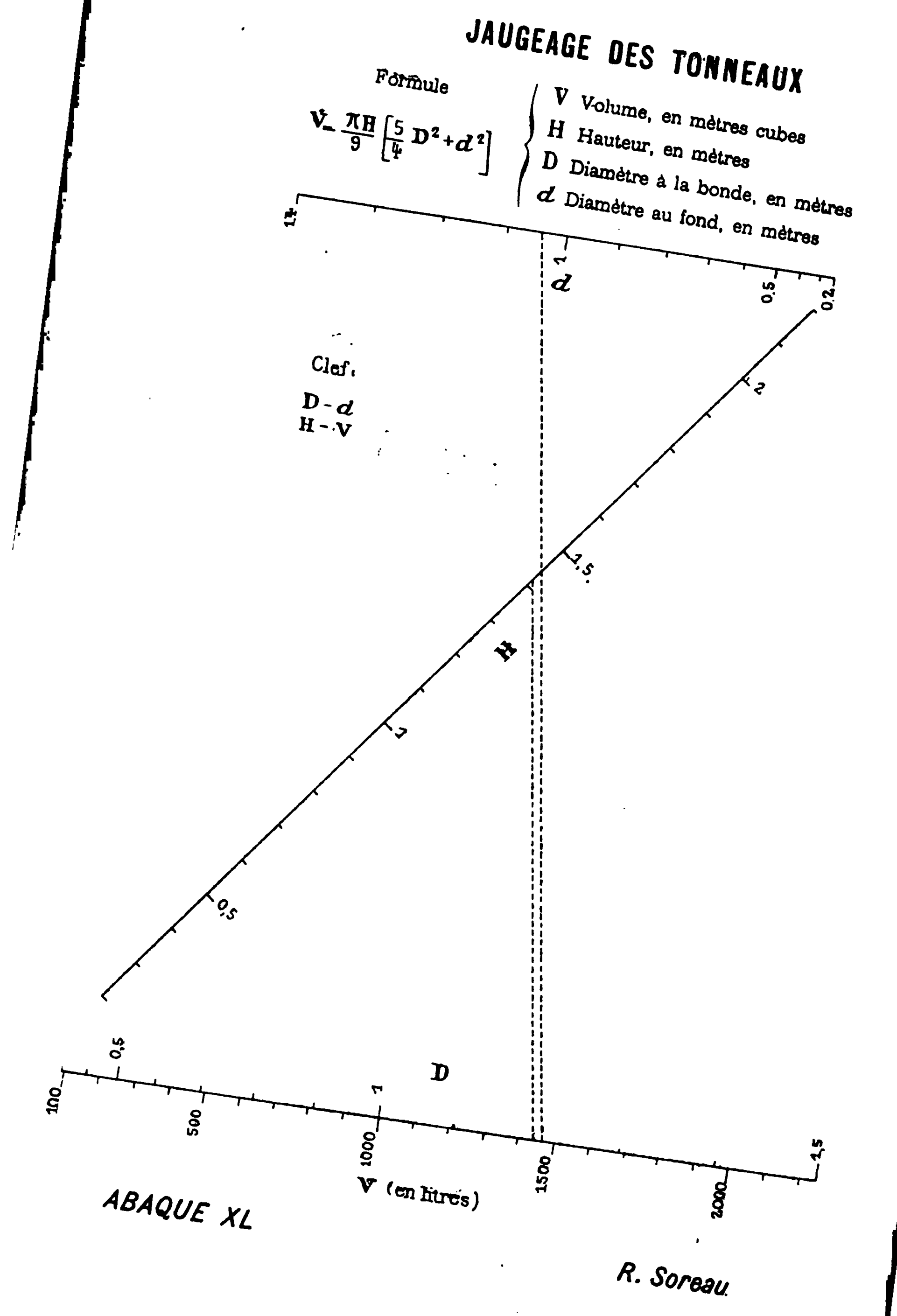
Ainsi donc, parmi les abaques susceptibles de représenter la proposée, nous trouvons le très remarquable abaque suivant :

En prenant des axes obliques, les échelles sont disposées suivant un Z (*fig. 24*); on arrive facilement à des dispositions avantageuses grâce à l'obliquité des axes dont on dispose et à ce fait qu'on peut déplacer les échelles u_3 et u_4 de quantités égales A sur leurs supports, ce qui ne modifie pas le parallélisme. Par exemple, le choix de l_1 et de l_3 permet de donner à u_1 et à u_3 les mêmes longueurs utiles; par un glissement de u_3 sur son support, on amènera ces deux longueurs à coïncider. Cela fait, on déterminera l_2 de façon à avoir une longueur convenable pour u_2; puis, par l'inclinaison des axes, on placera u_4 en face des échelles u_1 et u_3.



On peut d'ailleurs, si on juge qu'il y a inconvénient à prendre le même support pour u_3 et u_1, monter ou baisser les échelles u_3 et u_4 de quantités égales.

131. — *Double alignement en équerre.* — En faisant tourner la figure $(x_3 x_4)$ de 90°, les échelles u_3 et u_4 se placent perpendicu-


JAUGEAGE DES TONNEAUX
Formule
$V = \frac{\pi H}{9}\left[\frac{5}{4}D^2 + d^2\right]$
V Volume, en mètres cubes
H Hauteur, en mètres
D Diamètre à la bonde, en mètres
d Diamètre au fond, en mètres
Clef.
D - d
H - V
d
1
0,5
0,2
2
1,5
H
1
0,5
D
0,5
1
1,5
100
500
1000
1500
2000
V (en litres)
ABAQUE XL
R. Soreau

lairement à l'échelle u_1. On a alors un abaque en U coupé par une transversale.

132. — Exemples : *1° Jaugeage des tonneaux (Abaque XL).* — Parmi les formules de jaugeage, considérons la suivante :

$$V = \frac{\pi H}{9}\left(\frac{5}{4}D^2 + d^2\right).$$

Nous avons été conduit à prendre, en millimètres :

$$u_1 = 50\,V,$$

$$u_2 = \frac{9}{\pi}70\left(\frac{\pi H}{9}\right) = 70\,H,$$

$$u_3 = 40\left(\frac{5}{4}D^2\right) = 50\,D^2,$$

$$u_4 = -40\,d^2.$$

La longueur de la branche oblique du Z est $\frac{9}{\pi}\frac{70 \times 40}{50} = 160{,}4\,mm$.

Les index en pointillé correspondent à l'exemple $H = 1{,}42\,m$, $D = 1{,}21\,m$, $d = 1{,}04\,m$, d'où $V = 1\,440\,l$.

M. G. Pesci, professeur à l'Académie navale de Livourne, a donné (1), par des méthodes moins simples, d'autres abaques de cette équation, entre autres un abaque à double alignement concourant, et un abaque à 2 courbes cotées et 2 réseaux de droites, que nous citerons plus loin **(185)**.

133. — *2° Vaporisation dans les chaudières (Abaque XLI).* — Dans une remarquable étude sur la vaporisation (2), M. Brillié, dont on connaît les travaux sur la circulation dans les chaudières aquatubulaires, a donné la formule inscrite à la légende de notre abaque XLI. Le coefficient de rendement K, résultant d'un très grand nombre d'essais de vaporisation, a les valeurs indiquées au tableau ci-contre :

Chaudières sans faisceau tubulaire	à bouilleurs	1,15
	de Lancashire	1,12
	de Lancashire avec réchauffeurs	1,22
	de Cornouailles	1,30

(1) *Génie Civil*, mai 1899.
(2) *Bulletin de l'Association technique maritime*, 1898.

CHAUDIÈRES TUBULAIRES	cylindriques à retour de flammes		1,22
	type Amirauté	*Fleurus, Condor*	1,23
		Marceau	1,20
	type locomotive	torpilleurs de 35 *m*	1,08
		type Normand	1,25
		type P.-L.-M.	1,31
		anglaise	1,34
	semi-fixe, locomotive		1,26
	locomobile		1,22

CHAUDIÈRES MULTI-TUBULAIRES	de Naeyer		1,11
	Merryweather		1,12
	d'Allest	type *Bombe*	1,20
		type *Jemmapes*	1,25
	Niclausse	pour bâtiments (*Friant, Requin*)	1,20
		pour torpilleurs	1,20
	Belleville	avec économiseur	1,30
		sans écon^seur^	$1 + 0,22\left(1,7 - \frac{p}{100}\right)$

CHAUDIÈRES TUBULAIRES	du Temple, Normand-du Temple, Normand.	1,13
	type *Jeanne-d'Arc*	1,10
	Normand-Sigondy	1

Nous avons traduit la formule de M. Brillié en abaque.

Remarquons tout d'abord que la fonction :

$$\left(\frac{S}{s} - 40\right)\left[1 - 0,02\left(\frac{S}{s} - 40\right)\right]$$

passe par un maximum pour :

$$0,02\left(\frac{S}{s} - 40\right) = 1 - 0,02\left(\frac{S}{s} - 40\right),$$

soit pour $\frac{S}{s} = 65$, compris entre les valeurs extrêmes des variations utiles. L'échelle $\left[\frac{S}{s}\right]$ aura donc une double graduation, et il y a lieu de lui réserver, à elle seule, une des branches parallèles du Z, l'autre branche portant également deux graduations [p] et [V].

VAPORISATION DANS LES CHAUDIÈRES



$$V = K\left\{8{,}7 - 8{,}5\frac{p}{1000} + 0{,}06\left(\frac{S}{s} - 40\right)\left[1 - 0{,}02\left(\frac{S}{s} - 40\right)\right]\right\}$$

V Vaporisation, en Kg., par Kg. de combustible (eau à 0° et vapeur à 100°).
p Poids, en Kg, de charbon brûlé par heure et par mètre carré de surface de grille.
$\frac{S}{s}$ Rapport de la surface de chauffe à la surface de grille.
K Coefficient de rendement particulier au type de la chaudière.

Clef:
$\frac{S}{s}$ — p
K — V

$\frac{S}{s}$: 30, 40, 50, 60, 65 — 100, 90, 80, 70

K: 1,35, 1,30, 1,25, 1,20, 1,15, 1,10, 1,05, 1

p: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400

V: 11, 10, 9, 8, 7, 6

ABAQUE XLI *R. Soreau*

Nous avons été conduit à prendre, en millimètres :

$$u_1 = 30\,\mathrm{V}$$

$$u_2 = 200\,\mathrm{K},$$

$$u_3 = 50\left(8{,}7 - 8{,}5\,\frac{p}{1\,000}\right) + \mathrm{A},$$

$$u_4 = 50\left\{0{,}06\left(\frac{\mathrm{S}}{s} - 40\right)\left[1 - 0{,}02\left(\frac{\mathrm{S}}{s} - 40\right)\right]\right\} + \mathrm{A},$$

d'où, pour la longueur de la branche oblique, $\frac{10\,000}{30} = 333\,mm$.

Afin de placer les parties utiles sensiblement en face l'une de l'autre, nous avons choisi $\mathrm{A} = -85\ mm$.

La position en pointillé des index montre que, pour $\frac{\mathrm{S}}{s} = 40$ ou $= 90$, $p = 100\ kg$, $\mathrm{K} = 1$, on a $\mathrm{V} = 7{,}85\ kg$.

De même que la formule, cet abaque peut rendre de réels services pour la détermination des éléments principaux d'une chaudière.

134. — 3° *Tracé des aubes d'un ventilateur (Abaque XLII).* — Voici un exemple de la disposition avec double alignement en équerre.

D'après Rittinger, pour tracer l'aube d'un ventilateur aboutissant au point A de la circonférence extérieure, on mène la tangente en A à cette circonférence, et l'on décrit de C comme centre une circonférence dont le rayon $\rho = \mathrm{AC}$ est défini par les deux relations écrites sur l'abaque, α étant un angle auxiliaire destiné à faciliter les calculs.

On pourrait construire deux abaques distincts pour chacune de ces équations (1). Mais, en éliminant α entre elles, on arrive à une équation représentable par un abaque unique extrêmement simple :

$$0{,}044\rho^2 = (m^2 - 1)^2\,(u^2 + 0{,}011\mathrm{R}_1^2).$$

On a ainsi un abaque en Z à double alignement parallèle dont les échelles sont :

$$u_1 = 0{,}044 l_1 \rho^2,$$

$$u_2 = l_2(m^2 - 1)^2,$$

$$u_3 = 0{,}011 l_3 \mathrm{R}_1^2,$$

$$u_4 = -l_3 u^2.$$

(1) Voir n° 160.

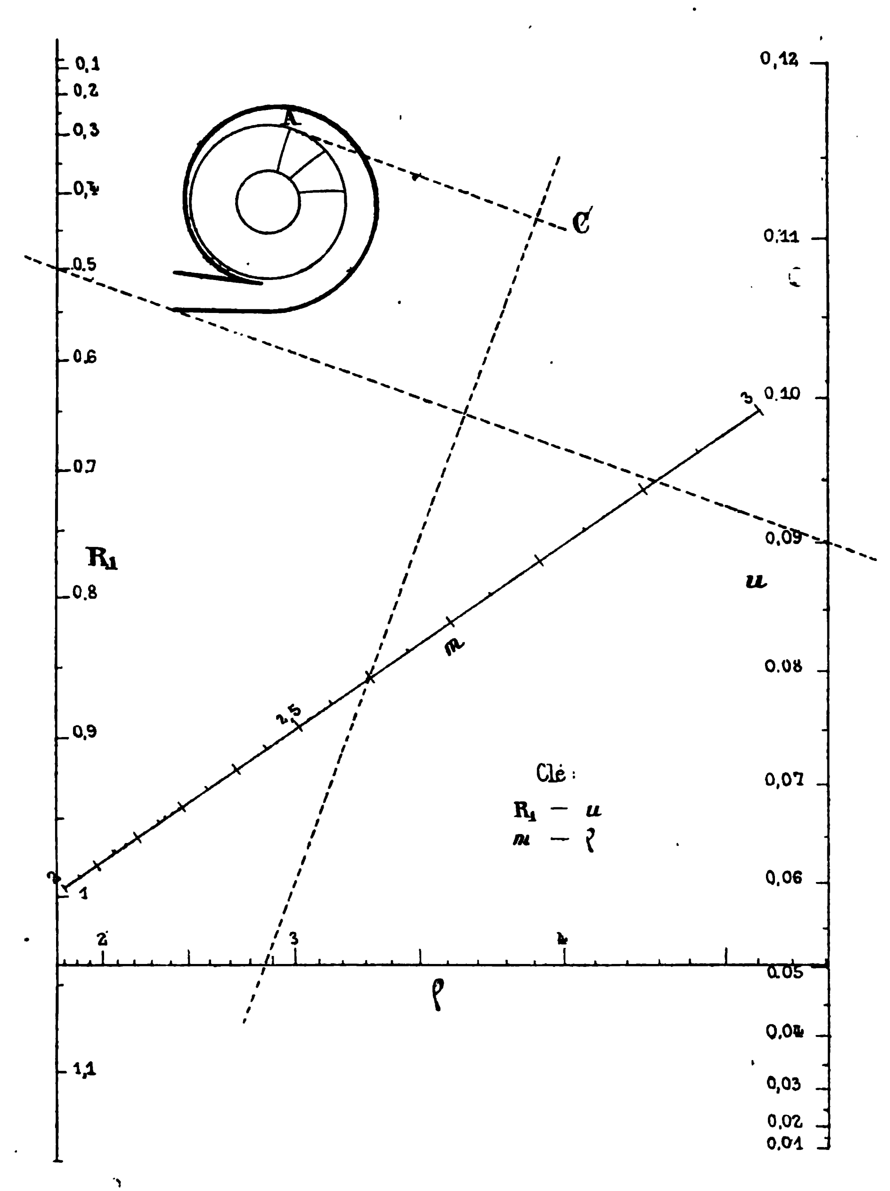
TRACÉ DES AUBES D'UN VENTILATEUR

Formules de Rittinger :

$$\rho = \frac{R_1}{2 \sin \alpha}(m^2 - 1)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0{,}1047 \frac{R_1}{u}$$

ρ Rayon de l'aube, en mètres.
R_1 Rayon de la circonférence intérieure, en mètres.
m Rapport entre les rayons des circonférences ext.^re^ et int.^re^
$u = \frac{u_0}{n}$ { u_0 Vitesse de l'air dans l'ouverture d'aspiration, en m/s ; n Nombre de tours par minute.



ABAQUE XLII

R. Soreau

Nous l'avons transformé en un abaque à double alignement en équerre, construit en XLII avec $0{,}044\,l_1 = 5\ mm$, $l_2 = 2\ mm$, $l_3 = 10\,000\,mm$, d'où $\frac{l_2 l_3}{l_1} = 176\ mm$.

La position de l'index en pointillé correspond à $\frac{v_0}{n} = 0{,}09$, $R_1 = 0{,}5\ m$, $\frac{R_2}{R_1} = 2{,}6$; on trouve immédiatement $\rho = 2{,}85\ m$. La résolution des équations, assez longue, donnerait $\operatorname{tg} \alpha = 0{,}582$, d'ou $\sin \alpha = 0{,}503$ et $\rho = 2{,}86\ m$.

III. — Équations d'ordre supérieur à 4.

135. — Les abaques à alignement, s'ils existent, comportent alors 3 échelles rectilignes et 1 échelle curviligne pour l'ordre 5, 2 échelles rectilignes et 2 échelles curvilignes pour l'ordre 6, etc.

Parmi les équations ainsi représentables, nous rappelons celles qui sont de la forme :

$$\frac{a_1\chi_1 + a_2\chi_2 + b}{A_1X_1 + A_2X_2 + B} = \frac{a_3\chi_3 + a_4\chi_4 + c}{A_3X_3 + A_4X_4 + C}.$$

Cette forme comprend un grand nombre de cas; elle est d'ordre 4, 5, 6, 7 ou 8 suivant que 4, 3, 2, 1 ou 0 des fonctions X sont des constantes ou des fonctions linéaires des fonctions correspondantes χ. Nous avons donné au n° **110** les équations génératrices, faciles à retenir, pour les abaques à double alignement concourant, les abaques à double alignement parallèle et, conséquemment, les abaques à double alignement en équerre.

136. — Parmi les formes qui s'en déduisent et qu'on rencontre le plus souvent dans la pratique, signalons les suivantes :

pour l'ordre 5 $\left\{\begin{array}{ll} f_1 + \varphi_2 = F_3F_4 + \Phi_4 & (a) \\ f_1f_2 \quad\;\; = F_3F_4 + \Phi_4 & (b) \end{array}\right.$

pour l'ordre 6 $\quad f_1f_2 + \varphi_2 = F_3F_4 + \Phi_4 \qquad (c)$

Nous allons étudier la dernière, d'où l'on déduit la première en prenant $f_2 = 1$ et la seconde en prenant $\varphi_2 = 0$.

Pour obtenir la disjonction de (*c*), on peut opérer de diverses manières, que nous allons rappeler à titre d'indication.

1° Ramener la proposée à la forme générale du n° **135**, dont nous savons opérer la disjonction, en l'écrivant :

$$\frac{f_1 + \frac{\varphi_2}{f_2}}{\frac{1}{f_2}} = \frac{F_3 + \frac{\Phi_4}{F_4}}{\frac{1}{F_4}};$$

2° Déduire l'équation génératrice cherchée des équations génératrices connues de :

$$f_1 f_2 + \varphi_2 = \alpha,$$
$$F_3 F_4 + \Phi_4 = \alpha,$$

en appliquant la méthode du n° **107**;

3° Essayer de représenter chacune de ces équations par des abaques à réseaux de droites, en employant la méthode générale des échelles binaires.

C'est cette dernière méthode que nous allons employer. Écrivons donc :

$$f_1 f_2 + \varphi_2 = x, \text{ d'où : } \left\{ \begin{array}{l} y = f_1 \\ x = y f_2 + \varphi_2 \end{array} \right.$$

$$F_3 F_4 + \varphi_4 = x, \text{ d'où : } \left\{ \begin{array}{l} y = F_3 \\ x = y F_4 + \Phi_4 \end{array} \right.$$

$$\begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & f_1 \\ 1 & f_2 & 0 & \varphi_2 \\ 0 & 0 & -1 & F_3 \\ 1 & 0 & F_4 & \Phi_4 \end{vmatrix} = 0.$$

De cette équation génératrice, on déduira tous les abaques $[\Delta_1]$, $[\Delta_2]$ et $[\Delta_3]$ susceptibles de représenter la proposée.

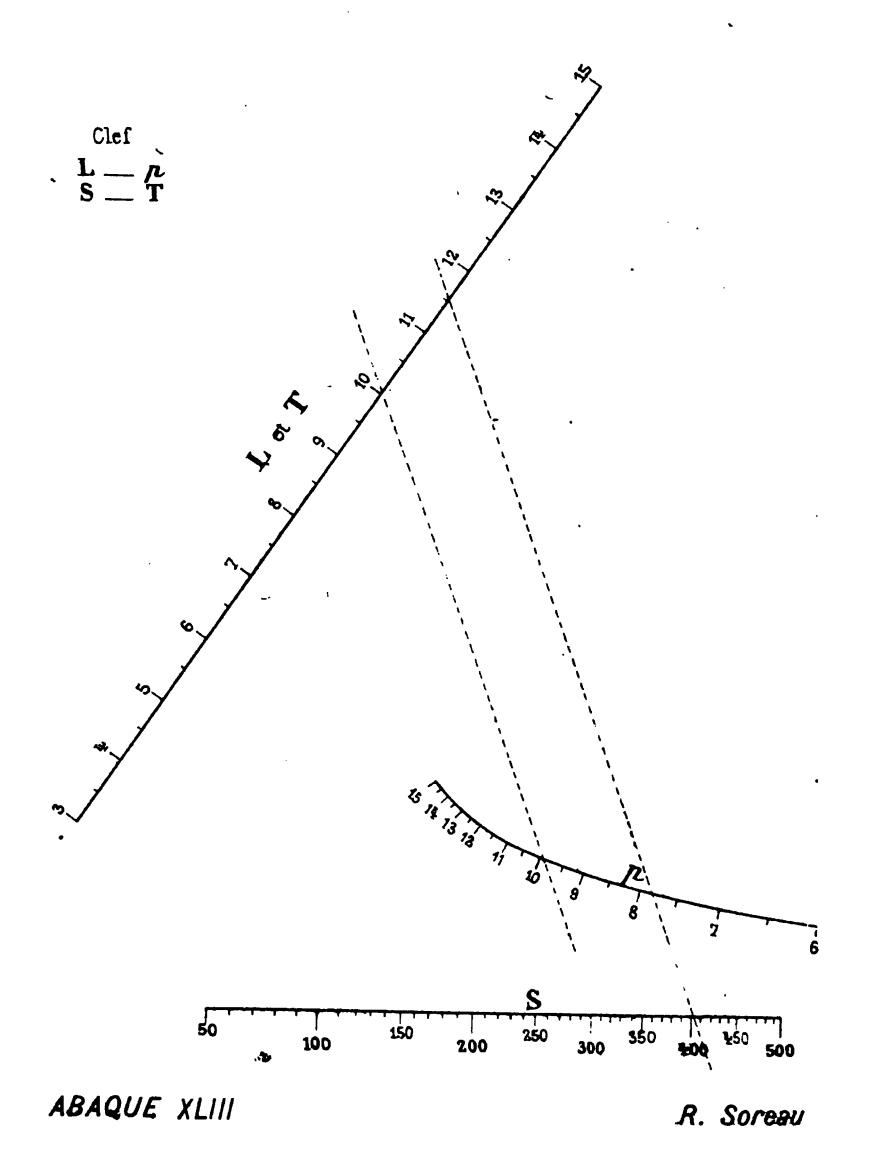
137. — EXEMPLES : *1° Jauge des Yachts (Abaque XLIII).* — Nous avons donné *(Abaque XXXII)* l'abaque à réseaux construit par M. Chancel. La représentation et surtout la lecture sont singulièrement simplifiées si l'on a recours à un abaque à double alignement.

JAUGE DES YACHTS

Formule de l'Union des Yachts français:

$$130\,T = \left(Lp - \frac{p^2}{4}\right)\sqrt{S}$$

- T Tonnage de course, en tonneaux
- L Longueur à la flottaison, en mètres
- p Périmètre, en mètres
- S Surface de voilure, en mètres carrés



ABAQUE XLIII — *R. Soreau*

La proposée est du type (*b*) d'ordre 5. On peut donc l'écrire :

$$\begin{vmatrix} 0 & -1 & \sigma & T \\ 1 & \frac{130}{\sqrt{s}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & L \\ 1 & 0 & p & -\frac{p^2}{4} \end{vmatrix} = 0.$$

Transformons cette équation de façon à obtenir un double alignement parallèle, puisque la droite de pivotement du double alignement concourant n'aurait aucune signification. Pour cela, après avoir multiplié la deuxième ligne par $\frac{\sqrt{s}}{130}$, multiplions D par le déterminant δ. Nous sommes amenés, pour une bonne disposition, à prendre $\mu = \nu = \rho = \lambda''' = \mu''' = \nu''' = 0$, ce qui donne les échelles :

$$u_1 = \rho''' T \text{ suivant l'axe des } y$$

$$u_2 = \frac{\lambda\sqrt{s}}{130} \quad — \quad — \quad x$$

$$u_3 = \rho''' L \quad — \quad — \quad y$$

$$\begin{cases} x = \frac{\lambda}{p} \\ y = \frac{\rho''' p}{4} \end{cases}$$

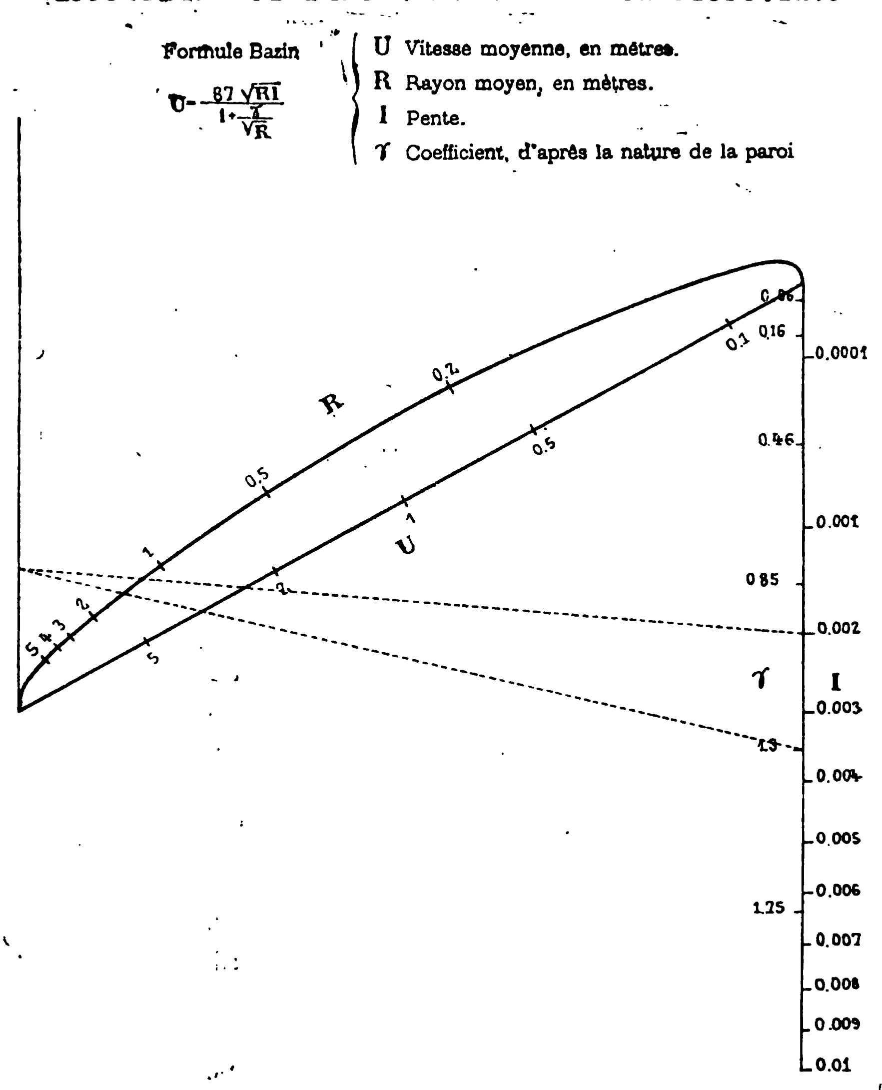
Nous n'avons pas amplifié la figure (L, *p*) afin de superposer les échelles u_1 et u_3, et nous avons pris, eu égard aux dimensions de la feuille, $\lambda = 650$ *mm*, $\rho''' = 10$ *mm*.

C'est ainsi qu'a été construit l'abaque XLIII.

On peut employer les mêmes multiplicateurs correspondants que dans l'abaque de M. Chancel.

138. — 2° *Écoulement de l'eau dans les canaux découverts (Abaques XLIV et XLV).* — Dans un important Mémoire qui s'appuie sur un nombre considérable d'expériences, M. Bazin a modifié récemment son ancienne formule pour l'écoulement de l'eau

ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS



ABAQUE XLIV

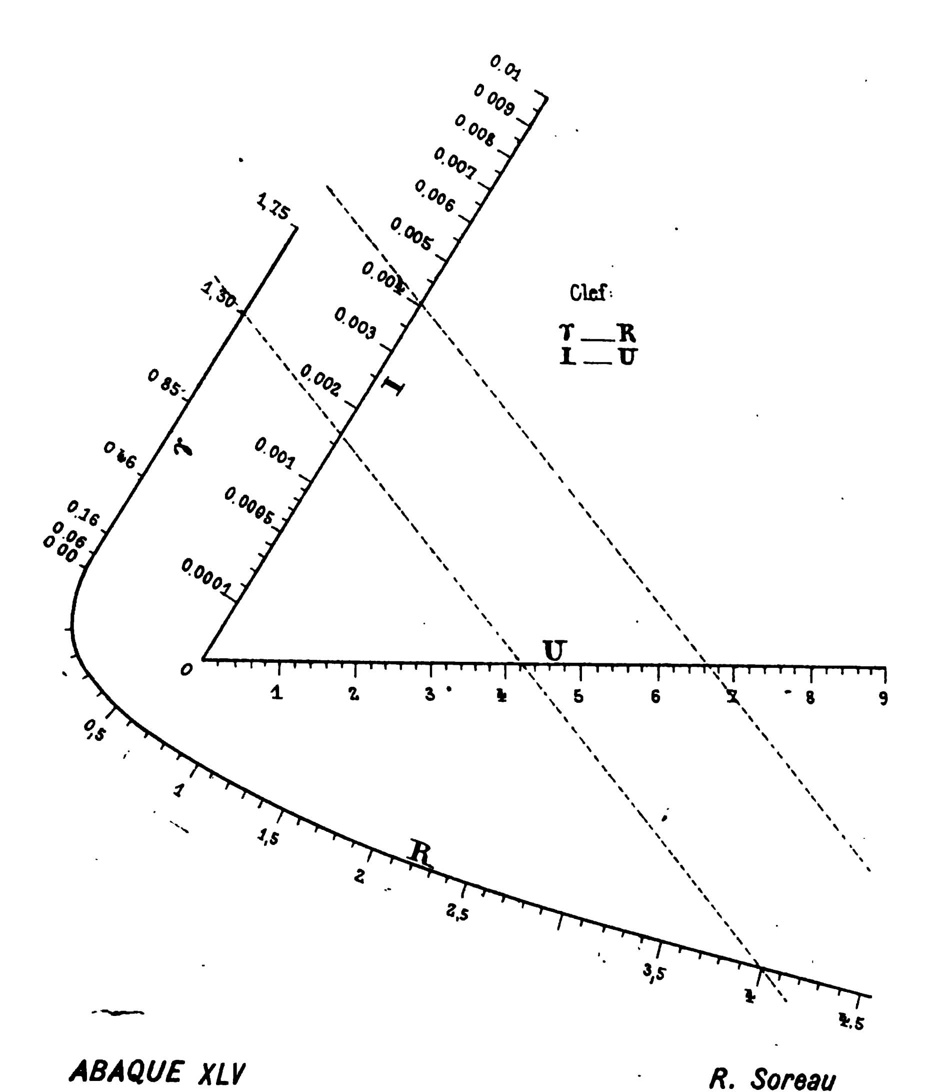
M. d'Ocagne

ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS

Formule Bazin

$$U = \frac{87\sqrt{RI}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

- U Vitesse moyenne, en mètres
- R Rayon moyen, en mètres
- I Pente
- γ Coefficient, d'après la nature de la paroi



ABAQUE XLV

R. Soreau

dans les canaux découverts (1). Sa nouvelle formule, indiquée à la légende des abaques, peut s'écrire :

$$\frac{87\sqrt{\mathrm{I}}}{\mathrm{U}} = \frac{\gamma}{\mathrm{R}} + \frac{1}{\sqrt{\mathrm{R}}}.$$

qui rentre encore dans le type *(b)* d'ordre 5. Le coëfficient γ qui y figure dépend de la nature de la paroi, et a, suivant M. Bazin, les valeurs suivantes :

0,06 parois très unies (ciment, bois raboté, etc.).
0,16 — unies (planches, briques, pierres de taille, etc.).
0,46 — moellons.
0,85 — perrés, terres très irrégulières.
1,30 — terres dans des conditions ordinaires.
1,75 — terres d'une résistance exceptionnelle (galets, herbes, etc.).

Appliquant la formule du n° **136** et chassant les dénominateurs, on a :

$$\begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 87\sqrt{\mathrm{I}} \\ \mathrm{U} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & \gamma \\ \mathrm{R} & 0 & 1 & \sqrt{\mathrm{R}} \end{vmatrix} = 0,$$

équation génératrice dont on déduira, par nos méthodes, des abaques à double alignement parallèle, en équerre ou concourant.

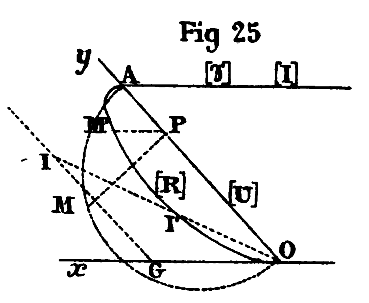
1° M. d'Ocagne a traité la proposée par sa méthode des coordonnées parallèles. Les résultats qu'il a obtenus reviennent à écrire :

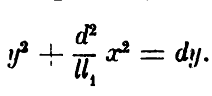
$$\begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \end{array}\begin{matrix} [t] & [z] & [y] & [x] \end{matrix}$$

$$\begin{vmatrix} -\frac{1}{l_3} & -\frac{d}{l_3} & 0 & 87\sqrt{\mathrm{I}} \\ \frac{\mathrm{U}}{l_2} + \frac{1}{l_3} & \frac{d}{l_3} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{l_1} & 0 & -\frac{d}{l_1} & \gamma \\ \frac{\mathrm{R}}{l} + \frac{1}{l_1} & 0 & \frac{d}{l_1} & \sqrt{\mathrm{R}} \end{vmatrix} = 0,$$

(1) ***Annales des Ponts et Chaussées*, 1897.**

équation qui se déduit facilement de la précédente. Les échelles [γ] et [I] sont sur une même droite parallèle à Ox à la distance $OA = d$ (*fig.* 25); l'échelle [U] est sur l'axe des y; l'échelle [R] est la demi-ellipse ayant pour équation :





$$y^2 + \frac{d^2}{ll_1} x^2 = dy.$$

OA est un diamètre, dont Ox est la direction conjuguée. Il est donc bien facile de tracer la demi-ellipse, à l'aide de la demi-circonférence décrite sur OA, qu'on déforme en prenant $\frac{PM'}{PM} = \frac{\sqrt{ll_1}}{d}$. Soit I' un point de l'ellipse, I le point d'intersection du rayon vecteur issu de O avec une droite GI parallèle à OA. On a :

$$GI = \frac{y}{x} OG = \frac{d}{l_1\sqrt{R}} OG.$$

Prenons $OG = \lambda \frac{l_1}{d}$; il suffira de graduer l'échelle rectiligne $GI = \frac{\lambda}{\sqrt{R}}$, et de mener les rayons vecteurs OI pour coter les points I'.

2° Nous avons construit un abaque à double alignement parallèle pour la même formule. En multipliant par un déterminant δ convenable, on obtient facilement :

$$\begin{array}{cccc} [x] & [y] & [z] & [t] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} o & 87\mu\sqrt{I} & d & 1 \\ \lambda U & o & d & 1 \\ o & \mu\gamma & d' & 1 \\ \lambda R & -\mu\sqrt{R} & d' & 1 \end{vmatrix} = o.$$

Les échelles [I] [U] et [γ] ont pour supports l'axe des x ou l'axe des y; l'échelle [R] est une branche de parabole tangente à l'axe des y.

Nous avons triplé la figure [γ, R] par rapport à [I, U], et nous l'avons déplacée parallèlement à elle-même de façon à séparer

les échelles [I] et [γ]. Nous avons ainsi obtenu une disposition intéressante, dans laquelle les deux figures s'emboîtent bien, et permettent une lecture facile.

L'abaque a été construit avec $\lambda = \mu = 10\,mm$ pour [I, U] et $\lambda = \mu = 30\,mm$ pour [γ, R].

Cet abaque pourrait être immédiatement transformé en abaque à double alignement en équerre en faisant tourner [γR] de 90°, puis en déplaçant cette figure dans le plan, parallèlement à elle-même, de façon à l'amener à la position qu'on jugera la plus convenable.

IV. — Applications à l'équation à 3 variables.

139. — *Abaissement du nombre des variables de l'équation à 4 variables.* — Cet abaissement peut se faire de deux façons : soit que l'une des variables devienne identique à l'une des 3 autres; soit que cette variable devienne une constante.

Dans le premier cas, il y a lieu de distinguer, suivant que les deux variables qui se réduisent à une seule appartiennent ou non à la même échelle binaire.

1° Supposons $\alpha_4 \equiv \alpha_3$. L'échelle binaire $x = lF_{34}$ se réduit à l'échelle simple $x = lF_3$: l'abaque est alors composé des systèmes figuratifs (α_1), (α_2) et $(\alpha_3) = (d)$, formés de réseaux cotés ou de courbes cotées. Cet abaque n'a rien de nouveau; il appartient à la famille connue (Δ) des abaques par lesquels on peut représenter la proposée.

2° Supposons $\alpha_3 \equiv \alpha_1$: l'abaque est composé réellement de 4 systèmes cotés $(\alpha_1)(\alpha_2)(\alpha_1)'(\alpha_3)$ et du système non coté (d). Il est donc différent des abaques obtenus au Chapitre des équations à 3 variables et constitue un mode de représentation nouveau.

140. — Inversement, étant donnée une équation à 3 variables, il peut y avoir intérêt soit à dédoubler l'une d'elles, α_1 par exemple, en remplaçant α_1 par α_1' dans une partie des fonctions de α_1; soit à considérer certaines constantes comme fonctions d'une variable fictive.

Dédoublement d'une variable.

141. — Le dédoublement d'une variable est particulièrement avantageux avec notre théorie du double alignement. Ainsi, il se

peut que la disjonction sous la forme d'un déterminant D = o ne soit pas possible pour la proposée F_{123} = o, mais qu'elle le soit pour $F_{121'3}$ = o : dans ces conditions la représentation avec 3 courbes n'est pas possible, mais elle l'est avec 4 courbes, dont 2 pour la même variable; cette représentation est plus claire qu'avec 3 réseaux dont 1 au moins serait curviligne.

Quand l'inconnue n'est pas la variable ayant deux systèmes figuratifs, la clef reste la même que pour le cas de 4 variables. Mais si l'inconnue est cette variable, il faut opérer par tâtonnements, ce qui est assez difficile si les systèmes figuratifs sont des réseaux, mais présente beaucoup moins de difficultés si ce sont des courbes cotées.

142. — EXEMPLES : *1° Murs de soutènement pour des terres profilées suivant leur talus naturel (Abaques XLVI et XLVII).* — Ainsi l'équation donnée au n° **31** peut s'écrire :

$$\frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}{p} = -\operatorname{tg} \varphi \frac{1}{K} + \frac{1}{3K^2}.$$

Considérons comme distincts les φ du premier membre et ceux du second; l'équation est alors de la forme :

$$f_1 f_2 = F_3 F_4 + \Phi_4,$$

envisagée au n° **136**. On l'écrira donc immédiatement :

$$\begin{vmatrix} o & -1 & o & 1 + \operatorname{tg}^2 \varphi \\ 1 & \frac{1}{p} & o & o \\ o & o & -1 & -\operatorname{tg} \varphi \\ 1 & o & \frac{1}{K} & \frac{1}{3K^2} \end{vmatrix} = o.$$

Remarquons que l'on peut ici combiner les lignes 1 et 2 par voie d'addition ou de soustraction, après avoir multiplié les colonnes par des paramètres, ce qu'on ne pouvait faire utilement quand les éléments de chacune de ces lignes étaient fonctions de variables réellement distinctes.

1° C'est à l'occasion de cette application que M. Beghin a fait connaître le principe de sa méthode des abaques à double ali-

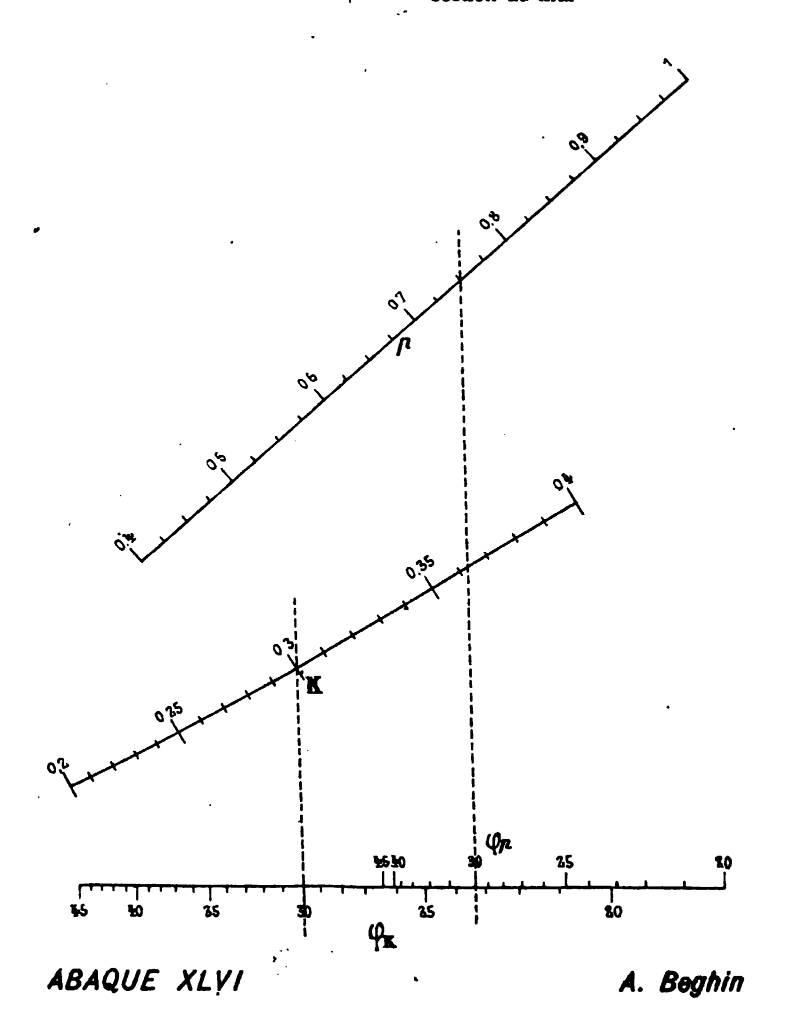
MURS DE SOUTÈNEMENT

pour terres profilées suivant leur talus naturel

Formule Collignon :

$$K^2 + Kp \sin\varphi \cos\varphi - \frac{p}{3}\cos^2\varphi = 0$$

- φ Angle naturel
- p Rapport du poids spécifique de la terre à celui de la maçonnerie
- K Rapport de la base à la hauteur de la section du mur



ABAQUE XLVI — *A. Beghin*

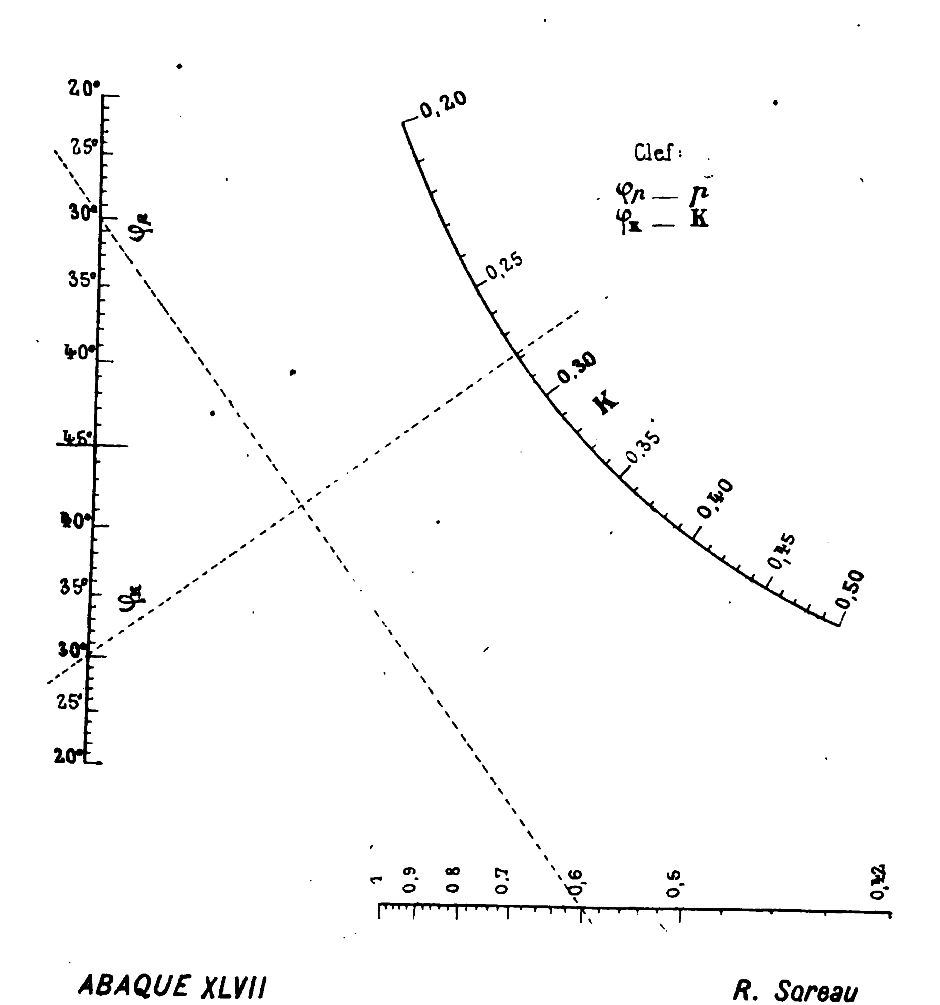
MURS DE SOUTÈNEMENT

pour terres profilées suivant leur talus naturel

Formule Collignon :

$$K^2 + Kp \sin\varphi \cos\varphi - \frac{p}{3}\cos^2\varphi = 0$$

- φ Angle naturel
- p Rapport du poids spécifique de la terre à celui de la maçonnerie
- K Rapport de la base à la hauteur de la section du mur



ABAQUE XLVII *R. Soreau*

gnement parallèle, en considérant la proposée comme une équation de la forme :

$$\frac{f_1 - f_2}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{f_3 - \varphi_4}{\varphi_3 - \varphi_4},$$

forme qu'il avait montrée susceptible d'être représentée par de tels abaques. Nous avons établi que ce mode de représentation, cas particulier de nos abaques proportionnels, s'applique plus généralement à toute équation qui, traitée par la méthode des échelles binaires, peut être représentée par 4 réseaux de droites.

L'abaque de M. Beghin, donné en XLVI, revient à prendre, parmi les abaques à double alignement parallèle qui résultent de l'équation génératrice ci-dessus, celui qui a pour équation :

$$\begin{array}{cccc} [x] & [y] & [z] & [t] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} \frac{1 + \text{tg}^2 \varphi}{\text{tg}\, \varphi} & 0 & 0 & 1 \\ 0 & p & 0 & 1 \\ \frac{1}{\text{tg}\, \varphi} & 0 & 1 & 1 \\ 3K & K^2 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Les échelles $[\varphi_p]$, associée à $[p]$, et $[\varphi_k]$, associée à [K], ont même support, et se superposent en partie. Cet abaque est plus clair que l'abaque à réseaux II.

2° La lecture se simplifie encore si l'on évite la superposition des graduations φ_p et φ_k, et si l'on prend un abaque à double alignement en équerre, pour lequel il suffit d'avoir un transparent mobile à deux index rectanglaires. Tel est le cas de notre abaque XLVII, que nous avons construit avec :

$$\begin{array}{cccc} [x] & [y] & [z] & [t] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} K & \frac{1}{3K} & 0 & 1 \\ 0 & \text{tg}\, \varphi & 0 & 1 \\ 0 & \frac{1}{p} & 1 & 1 \\ -\frac{1}{1 + \text{tg}^2 \varphi} & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

On a 3 échelles rectilignes et 1 échelle curviligne [K] : celle-ci est une branche d'hyperbole équilatère.

La rotation de 90° amène les échelles $[\varphi_p]$ et $[\varphi_k]$ à être parallèles ; nous les avons fait coïncider bout à bout à la cote 45°, par glissement d'une des figures parallèlement à elle-même.

L'abaque a été construit avec :

$$\begin{cases} x = 300\,\mathrm{K} \\ y = \dfrac{100}{3\mathrm{K}} \end{cases} \quad \begin{cases} x = \mathrm{o} \\ y = 100 \operatorname{tg} \varphi \end{cases} \quad \begin{cases} x = \dfrac{60}{p} \\ y = \mathrm{o} \end{cases} \quad \begin{cases} x = \mathrm{o} \\ y = -\dfrac{180}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} \end{cases}$$

143. — *2° Tir direct avec observations télémétriques (Abaque XLVIII).* — Reprenons le problème du n° **74**, en supposant l'ennemi visible de la batterie A. Il n'y a plus lieu d'observer l'angle φ au poste télémétrique, et le problème se réduit à calculer la correction a de la distance observée ρ, en fonction de ρ et de ψ.

Le triangle ABC *(fig. 14)* donne :

$$\rho^2 = (\rho + a)^2 + 1 - 2(\rho + a) \cos \psi,$$

d'où
$$a(\rho - \cos \psi) - \rho \cos \psi + \frac{1}{2}(1 + a^2) = \mathrm{o}.$$

Pour opérer la disjonction, considérons cette équation comme linéaire par rapport aux fonctions a et $1 + a^2$. On l'écrit alors immédiatement :

$$\begin{vmatrix} a & \frac{1}{2}(1 + a^2) & 1 \\ -\rho & \rho^2 & 1 \\ \mathrm{o} & \rho \cos \psi & 1 \end{vmatrix} = \mathrm{o}.$$

La troisième ligne donne l'échelle binaire :

$$x = \rho \cos \psi, \qquad \text{d'où} \qquad \begin{cases} y = \rho \\ x = y \cos \psi, \end{cases}$$

représentable par 2 réseaux de droites, qu'on peut transformer en 2 courbes $[\rho]$ et $[\psi]$: on aura alors un abaque à double alignement concourant, avec 2 échelles $[\rho]$ (1).

(1) Le capitaine Ricci a cherché à résoudre ce problème par un abaque à points simplement alignés, mais sa solution nous paraît inexacte (*Rivista* etc., loc. cit).

Cherchons un déterminant générateur, et, pour cela, transformons les réseaux de l'échelle binaire en courbes, en appliquant notre méthode du n° 95. Les réseaux (ρ) et (ψ) sont donnés par :

$$\begin{array}{c} \\ \end{array}\begin{vmatrix} \overset{[x]}{0} & \overset{[y]}{1} & \overset{[t]}{-\rho} \\ 1 & \cos\psi & 0 \\ 1 & 0 & -d \end{vmatrix} = 0,$$

d'où l'on déduit les courbes [ρ] et [ψ] :

$$\begin{vmatrix} \overset{[t]}{-1} & \overset{[y]}{1} & \overset{[x]}{\rho} \\ 1+\cos\psi & -\cos\psi & 0 \\ 1 & 0 & d \end{vmatrix} = 0.$$

On obtient ainsi le déterminant générateur :

$$\begin{vmatrix} \overset{[x]}{\frac{1}{2}(1+a^2)} & \overset{[y]}{a} & \overset{[z]}{0} & \overset{[t]}{1} \\ \rho^2 & -\rho & 0 & 1 \\ -\rho & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -\dfrac{\cos\psi}{1+\cos\psi} & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

De ce déterminant générateur nous déduisons le suivant :

$$\begin{vmatrix} \overset{[x]}{\lambda\left[\frac{1}{2}(1+a^2)+\mathrm{K}a\right]} & \overset{[y]}{\mu a} & \overset{[z]}{0} & \overset{[t]}{1-\mathrm{K}'a} \\ \lambda\rho(\rho-\mathrm{K}) & -\mu\rho & 0 & 1+\mathrm{K}'\rho \\ -\lambda\rho & 0 & \nu & 1 \\ 0 & 0 & \dfrac{\nu\cos\psi}{1+\cos\psi} & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

représentable par un abaque à double alignement concourant.

Pour une bonne grandeur des courbes nous avons été conduit à prendre, en millimètres :

$$\mathrm{K} = 5, \quad \mathrm{K}' = 1, \quad \lambda = 5, \quad \mu = 40, \quad \nu = 60.$$

Les courbes [ρ_a] et [ρ_ψ] sont allongées dans le sens des x : il y

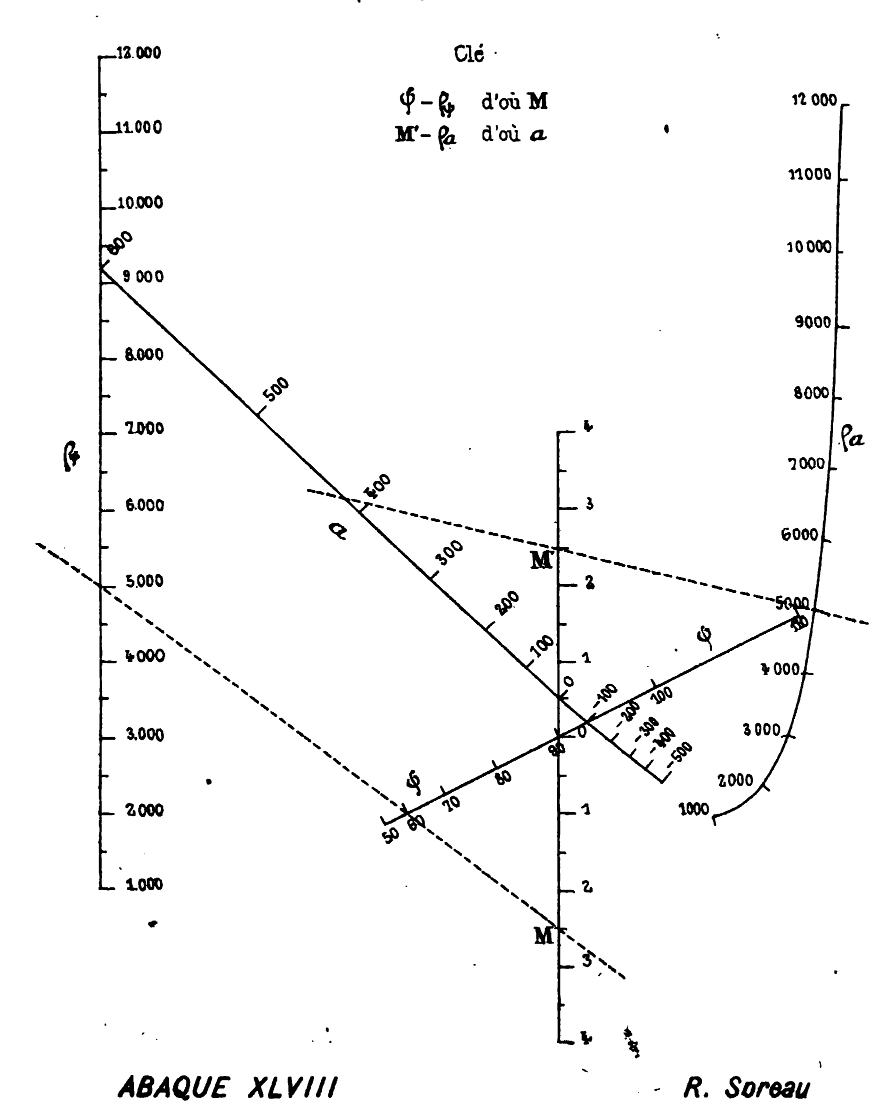
TIR DIRECT AVEC OBSERVATIONS TÉLÉMÉTRIQUES

Correction de distance

Formule :

$$a(\rho - \cos\varphi) - \rho\cos\varphi + \frac{1}{2}(1+a^2) = 0$$

- ρ Distance observée du poste télémétrique.
- φ Angle observé de la batterie.
- a Correction de distance.



ABAQUE XLVIII — *R. Soreau*

a donc un intérêt spécial, au point de vue de la précision, à donner à λ une valeur aussi grande que possible. Or, il est facile de doubler λ, et de faire néanmoins tenir les courbes dans les limites de la feuille, en recourant à l'artifice suivant : considérons la courbe $x = \lambda\rho_\psi$ symétrique de $x = -\lambda\rho_\psi$; l'alignement ψ, ρ_ψ donne sur la droite auxiliaire des points de concours M dont il suffit de prendre les symétriques M′ par rapport à O pour avoir l'alignement ψ, $(-\rho_\psi)$ qu'il aurait fallu prendre; à cet effet, nous avons mis sur la droite auxiliaire deux graduations symétriques.

Enfin, après avoir construit l'abaque avec des coordonnées rectangulaires, nous l'avons déformé par coordonnées obliques de façon à placer sensiblement les échelles $[\rho_a]$ et $[\rho_\psi]$ en face l'une de l'autre. C'est ainsi qu'a été construit l'abaque XLVIII en supposant $d = 1\,000$ *m*. L'emploi de cet abaque est indiqué par les alignements en pointillé qui correspondent à la distance télémétrique de 5 000 *m* et à l'angle $\psi = 60°$. On joint les points $\rho_\psi = 5$, $\psi = 60°$, ce qui donne sur la droite auxiliaire le point M, dont on prend le symétrique M′; l'alignement M′, $\rho_a = 5$ coupe l'échelle $[a]$ à la cote 0,42 environ : la correction donnée par l'abaque est donc de 420 *m*; la correction que donne la résolution algébrique de l'équation est 424 *m*.

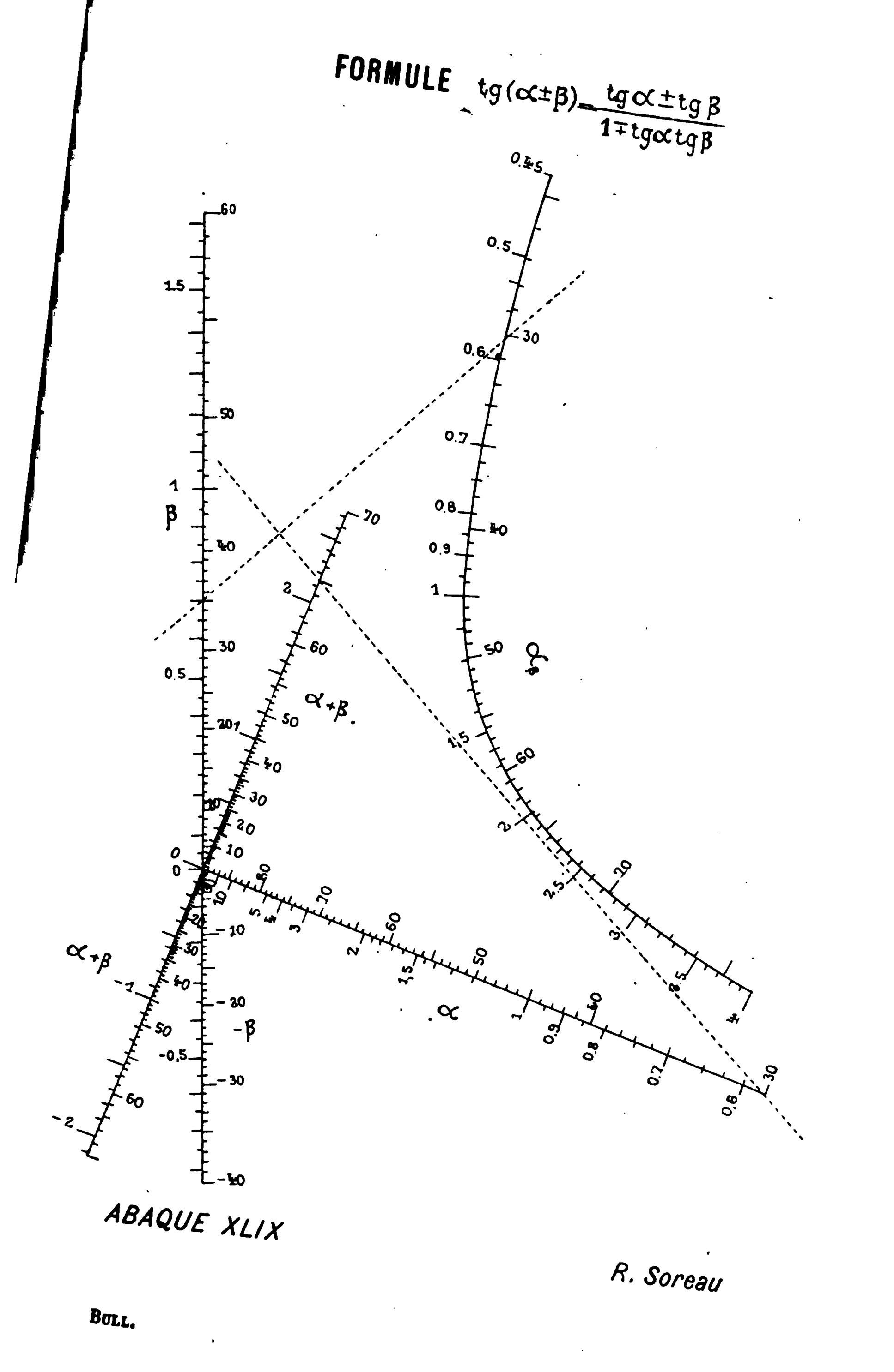
Si la base télémétrique était de 800 *m*, par exemple, au lieu de 1 000, il suffirait de multiplier la cote par $\frac{800}{1\,000}$ pour avoir la correction en mètres.

On remarquera que l'échelle $[a]$ a des cotes négatives : c'est que, si l'on imagine la perpendiculaire élevée à la base télémétrique en son milieu, a est nul quand le but est sur cette perpendiculaire, positif quand il est du côté du télémètre, négatif quand il est du côté de la batterie. Il y a donc lieu de prévoir des valeurs négatives pour a, de même qu'il y a lieu de prévoir pour ψ des valeurs supérieures à 90°. En pratique, ψ ne varie guère qu'entre 50 et 110°.

144. — *Valeur de tg $(\alpha \pm \beta)$ en fonction de tg α et de tg β (Abaque XLIX).* — L'équation :

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg}\alpha \pm \operatorname{tg}\beta}{1 \mp \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\beta},$$

n'est pas représentable par un abaque à simple alignement, car elle est de la forme (*e*) du n° **55**, et le produit des coefficients


FORMULE $tg(\alpha \pm \beta) = \frac{tg\,\alpha \pm tg\,\beta}{1 \mp tg\,\alpha\, tg\,\beta}$
β
−β
α
α+β
ABAQUE XLIX
R. Soreau
BULL.

des termes du 2e membre est — 1. Mais on peut la représenter par un abaque à double alignement en l'écrivant :

$$\frac{\operatorname{tg}(\alpha+\beta)}{\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}} = \frac{\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\beta}{\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} - \operatorname{tg}\beta},$$

formule dans laquelle β est positif ou négatif. On en déduit, d'après le n° 110,

$$\begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \end{array}\begin{vmatrix} \overset{[x]}{\operatorname{tg}(\alpha+\beta)} & \overset{[y]}{0} & \overset{[z]}{0} & \overset{[t]}{1} \\ 0 & -\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} & 0 & 1 \\ \operatorname{tg}\alpha & \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} & 1 & 1 \\ -\operatorname{tg}\beta & \operatorname{tg}\beta & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

d'où l'abaque à double alignement en équerre ayant pour échelles :

$y = \lambda \operatorname{tg}(\alpha + \beta)$ suivant l'axe des y, $[\alpha + \beta]$

$x = \mu \operatorname{cotg} \alpha$ suivant l'axe des x, $[\alpha]$

$\begin{cases} x = \lambda \operatorname{tg} \alpha \\ y = \mu \operatorname{cotg} \alpha \end{cases}$ hyperbole équilatère $xy = \lambda\mu$, $[\alpha_\beta]$

$\begin{cases} x = -\lambda \operatorname{tg} \beta \\ y = \mu \operatorname{tg} \beta \end{cases}$ droite passant par l'origine. $[\beta]$

Nous désignons par $[\alpha_\beta]$ celle des échelles $[\alpha]$ qui est associée à l'échelle $[\beta]$.

L'abaque a été construit avec $\lambda = 20$ *mm*, $\mu = 50$ *mm*. Chaque échelle porte une double graduation, en degrés et en tangentes trigonométriques, ce qui permet de résoudre tous les cas. Ainsi, supposons que l'on connaisse la somme des angles 65°, et l'un des angles par sa tangente, soit 0,577. L'abaque donne immédiatement $\beta = 35°$ et $\operatorname{tg}\beta = 0{,}7$.

L'emploi de cet abaque suppose que l'inconnue n'est pas α. Or, il peut toujours en être ainsi, puisque la formule est symétrique par rapport à α et à β, et que, conséquemment, si l'inconnue est un des deux angles, on peut toujours lui attribuer l'échelle $[\beta]$.

Le problème se résout facilement avec les tables qui se trou-

vent dans tous les Aide-Mémoire. Néanmoins, il nous a paru curieux de donner une représentation graphique de la formule par un abaque où n'entrent que des courbes cotées.

Introduction d'une variable fictive.

145. — Considérons certains coefficients convenablement choisis comme des fonctions d'une variable fictive α_4 : nous obtenons des modes de représentation nouveaux, dérivés des modes de représentation propres à l'équation à 4 variables, mais dans lesquels le 4ᵉ système figuratif est un point.

Cette introduction d'une variable fictive est d'ailleurs beaucoup moins importante que le dédoublement d'une variable envisagé au n° **141**. En effet, les abaques qu'on obtient ainsi ne sont pas, en général, plus simples que les abaques qui résultent de l'application directe des méthodes propres au cas de 3 variables, car on n'abaisse pas ainsi le degré des réseaux et des courbes; par suite, on ne peut changer un système figuratif de réseaux en un système figuratif composé d'une courbe cotée.

Considérons, par exemple, l'équation la plus générale qu'on pourrait obtenir sous la forme d'un abaque à double alignement quelconque où l'un des systèmes figuratifs est un point; en transformant cet abaque en un abaque à double alignement concourant, on a :

$$\begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & 0 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & 0 & \psi_2 \\ f_3 & 0 & \varphi_3 & \psi_3 \\ a & 0 & b & c \end{vmatrix} = 0.$$

Multiplions la troisième ligne par b, la quatrième par φ_3, et retranchons la quatrième de la troisième :

$$\begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & \psi_2 \\ bf_3 - a\varphi_3 & 0 & b\psi_3 - c\varphi_3 \end{vmatrix} = 0$$

La proposée peut donc être représentée plus simplement par un abaque à 3 points alignés dont les courbes ont même degré que celles de l'abaque à double alignement.

Aussi, tous les abaques dans lesquels un index pivote autour

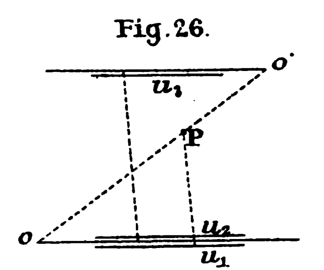
d'un point fixe n'offrent guère qu'un intérêt de curiosité. Par exemple, soit l'équation :

$$f_1 = f_2 + f_3.$$

Écrivons-la : $$f_1 = \alpha(f_2 + f_3)$$

et considérons momentanément $\alpha = 1$ comme une variable. On peut alors la représenter **(130)** par un abaque en Z dans lequel la branche oblique se réduit à un point. Au lieu des 3 supports parallèles donnés par la méthode ordinaire, on a 2 supports parallèles, dont 1 avec double graduation, et 1 point P (*fig* 26) tel que :

Fig. 26.



$$OO' = \frac{l_2}{l_1} OP.$$

Si les modules des 3 échelles sont égaux, le point P est sur l'échelle à graduation unique.

La clef est la suivante : si α_1 est l'inconnue, on mène par P une parallèle à $\alpha_2\alpha_3$; si α_3 est l'inconnue, on mène par α_2 une parallèle à $P\alpha_1$.

En faisant tourner $[\alpha_1]$ de 90° autour du point P, puis en déplaçant la figure $(P\alpha_1)$ parallèlement à elle-même, on obtient un abaque à équerre formé par 3 côtés d'un rectangle et 1 point.

Toutefois, l'emploi d'un point comme système figuratif peut être utile dans certains cas, et nous allons en citer deux exemples.

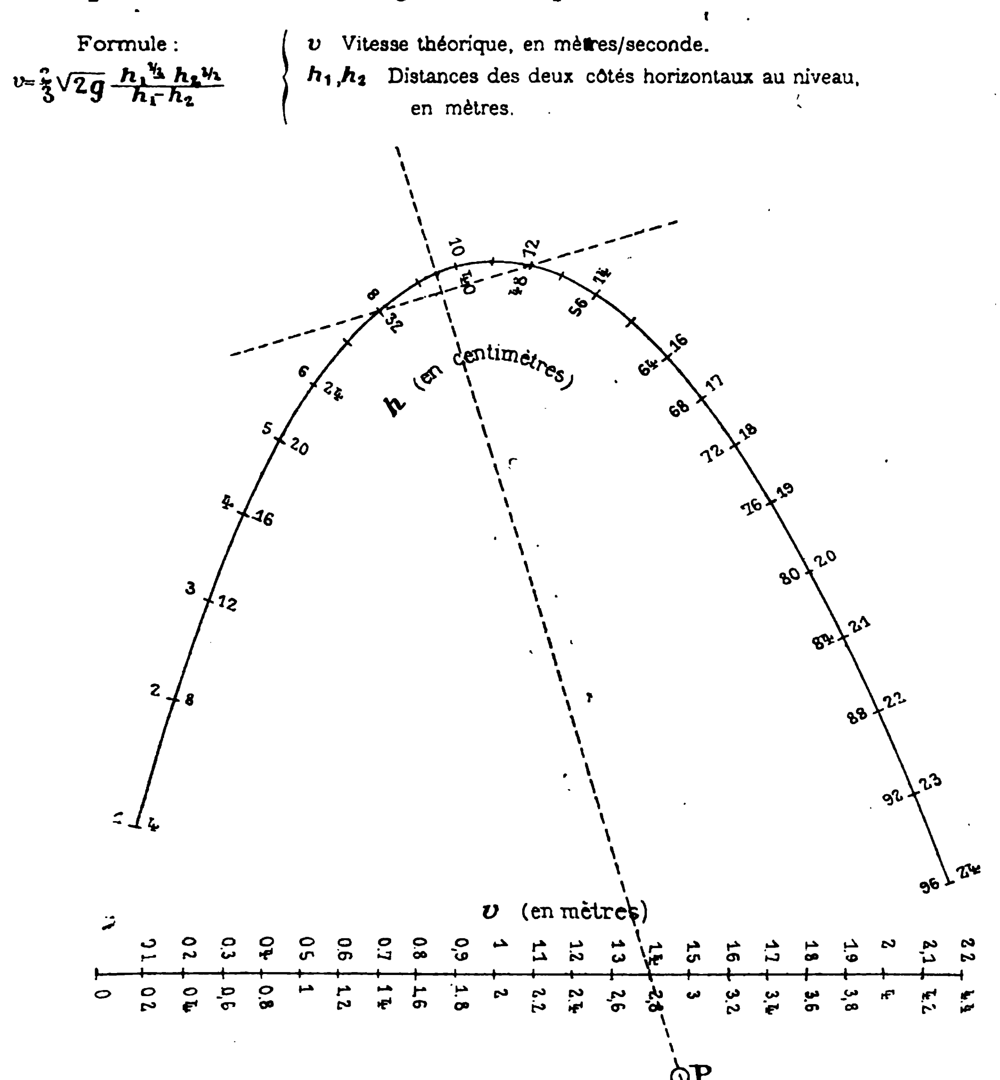
On en verra un autre, pour des types d'équations tout différents, aux nos **208** et **209**.

146. — Exemples : 1° *Écoulement de l'eau par un orifice rectangulaire en paroi verticale (Abaque L).* — Nous avons déjà donné deux abaques de la formule (*Abaques XXIX et XXX*) : le premier a sur le second l'avantage de ne pas obliger à calculer le rapport $\frac{h_2}{h_1}$, mais, en raison de la faible courbure de $[h]$, il n'a pas une grande précision.

Proposons-nous donc de construire un abaque dans lequel

ÉCOULEMENT DE L'EAU

par un orifice rectangulaire en paroi verticale



ABAQUE L

R. Soreau

$[h]$ ait une courbure plus accentuée, résultat auquel on arrive facilement en écrivant la formule :

$$\begin{vmatrix} 0{,}338\,v & o & o & 1 \\ o & -1 & o & 1 \\ h_1^{\frac{3}{2}} & h_1 & 1 & 1 \\ h_2^{\frac{3}{2}} & h_2 & 1 & 1 \end{vmatrix} = o.$$

De ce déterminant générateur, on peut en déduire une infinité, parmi lesquels nous avons choisi le suivant :

$$\begin{vmatrix} -1{,}352\,v & o & o & 1 \\ -1 & -1 & o & 1 \\ h_1 - 4h_1^{\frac{3}{2}} & h_1 & 1 & 1 \\ h_2 - 4h_2^{\frac{3}{2}} & h_2 & 1 & 1 \end{vmatrix} = o.$$

La seconde ligne a pour système figuratif un point P. Modifiant l'échelle de chacune des figures (v, P), $[h]$, nous avons pris l'abaque à double alignement en équerre représenté en L :

$$\left\{\begin{aligned} x &= 1\,800\,h, \\ y &= 10\,000\left(h - h^{\frac{3}{2}}\right), \end{aligned}\right. \qquad [h]$$

$$\left\{\begin{aligned} x &= 100\,v, \\ y &= 0, \end{aligned}\right. \qquad [v]$$

$$\left\{\begin{aligned} x &= 100 \times \frac{100}{135{,}2} = 74{,}1, \\ y &= -\,18 \times \frac{100}{135{,}2} = -\,15{,}338. \end{aligned}\right. \qquad [P]$$

Un des côtés de l'index en équerre est la corde h_1h_2, l'autre côté passe par le point fixe P et par le point cherché v.

147. — *2° Épaisseur des voûtes à la clef et aux retombées dans les ponts en maçonnerie (Abaque LI).* — Parmi les formules employées, considérons celles de Lesguiller, écrites à la légende de l'abaque.

Pour représenter la première, il suffit de donner une double graduation D et e à l'échelle [D] de l'abaque de la seconde formule.

PONTS EN PIERRE

Épaisseurs des voûtes à la clef et aux retombées

Formules de Lesguiller :

$e = 0{,}2\sqrt{D} + 0{,}1$

$E = \sqrt{D}\left[0{,}6 + K\left(\frac{D}{f} - 1\right) + 0{,}04\,H\right]$

- e Épaisseur à la clef, en m.
- E Épaisseur aux retombées, en m.
- D Ouverture de la voûte, en m.
- f Flèche ou montée de la voûte, en m.
- H Hauteur du pied-droit, en m.
- K Coefficient dépendant de la forme de la voûte.

R. Soreau

ABAQUE LI

Or k a trois valeurs, savoir :

0 pour le plein cintre;
0,01 pour l'arc de cercle;
0,05 pour l'anse de panier.

Donc, pour le plein cintre, la seconde formule se réduit à :

$$E = \sqrt{D}\,(0,6 + 0,04\,H),$$

équation à 3 variables qu'on sait représenter par un abaque à alignement à 3 droites cotées.

Mais, si l'on veut réunir sur un seul abaque les trois cas du plein cintre, de l'arc de cercle et de l'anse de panier, ce qui permet d'ailleurs de comparer les épaisseurs aux retombées pour chaque forme de voûte, l'équation à 3 variables relative au cas du plein cintre se trouve représentée, sur un tel abaque, par 3 échelles cotées et 1 point-pivot.

Prenons donc la formule générale de E. En considérant k comme une quantité connue, c'est une équation à 4 variables E, D, $\frac{D}{f}$, H, représentable par un abaque en Z à double alignement parallèle, que nous transformons en un abaque à double alignement parallèle en équerre, avec les échelles suivantes en millimètres :

$$u_1 = 50\,E,$$

$$u_2 = 50\sqrt{D},$$

$$u_3 = 250\,k\left(\frac{D}{f} - 1\right),$$

$$u_4 = -250(0,6 + 0,04H).$$

La longueur de la branche oblique est 250 *mm*.

On a, sur le même support, trois échelles $\frac{D}{f}$ qui se rapportent aux trois valeurs de k : celle du plein cintre se réduit à un point.

La position des index en pointillé correspond à la forme en anse de panier avec $D = 8\ m$, $H = 2\ m$, $\frac{D}{f} = 3$. L'abaque donne $e = 0,665\ m$, $E = 2,2\ m$. On trouverait avec les formules $e = 0,666\ m$, $E = 2,206\ m$.

Évanouissement d'un système figuratif.

148. — Une représentation analogue, c'est-à-dire avec un système figuratif réduit à un point, peut encore être utilisée dans le cas suivant :

Soit une équation à 4 variables pour laquelle on constate qu'une variable n'a aucune influence susceptible d'être appréciée graphiquement, dans le champ des variations que la pratique lui assigne. La première idée qui se présente est de remplacer cette variable par une constante, telle que sa valeur moyenne, ce qui ramène la proposée à une équation à 3 variables.

Toutefois, il peut y avoir intérêt à traiter la proposée comme équation à 4 variables, et alors un des systèmes figuratifs, réseau ou courbe, se réduit à un point.

149. — Exemple : *Correction de températures au baromètre d'altitude (Abaque LII).* — La formule bien connue de Laplace, rappelée sur l'abaque, est fonction de 4 variables N, λ, T + t, $\frac{H}{h}$. Or, à moins de recourir à des dimensions considérables, on ne saurait espérer la résoudre par abaque en tenant compte du terme de correction en λ. Conservons néanmoins ce terme et écrivons-la :

$$\begin{vmatrix} 1 & \frac{N}{18\,293} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \frac{1}{1 + 0{,}02837 \cos 2\lambda} \\ 0 & 0 & 1 & 1 + \frac{2(T + t)}{1\,000} \\ 1 & 0 & \log \frac{H}{h} & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

Cette équation est représentable par un abaque à double alignement concourant, dont les échelles sont rectilignes. Pour les former, nous avons choisi le déterminant qui résulte du précédent par les opérations suivantes : multiplions la 4e colonne par $\frac{1}{\rho}$, et ajoutons-lui la 1re colonne ; puis multiplions la 1re colonne par λ, la 2e par μ, la 3e par ν ; nous obtenons ainsi :

$$\begin{cases} x = \lambda \\ y = \dfrac{\mu N}{18\,293} \end{cases} \qquad \begin{cases} x = o \\ y = \mu\rho\,[1 + 0{,}02837 \cos 2\lambda] \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = o \\ y = \dfrac{\nu\rho}{1 + \dfrac{2(T + t)}{1\,000}} \end{cases} \qquad \begin{cases} x = \lambda \\ y = \nu \log \dfrac{H}{h} \end{cases}$$

Les échelles [N] et $\left[\frac{H}{h}\right]$ ont même support $x = \lambda$, ce qui constitue un abaque à échelles accolées (17) de l'équation à 2 variables :

$$\frac{\mu N}{18\,293} = \nu \log \frac{H}{h}.$$

Prenons μ et ν de façon qu'ils satisfassent à la relation :

$$\frac{\mu}{18\,293} = \frac{\nu}{18\,400}.$$

Cette équation devient :

$$N = 18\,400 \log \frac{H}{h},$$

c'est-à-dire la formule approchée qu'on emploie d'habitude quand on néglige la latitude et la température.

Remarquons d'autre part qu'on a :

$$\log \frac{H}{h} = \log H - \log h.$$

Par suite, pour éviter le calcul de $\frac{H}{h}$, on peut tracer deux échelles [H] et [h], parallèles à $\left[\frac{H}{h}\right]$ et à la même distance. On dispose alors du support de cette échelle, qui n'est pas coté; nous en avons profité pour y inscrire les valeurs h' de la formule approximative pour le cas de $H = 760$ *mm*; [h'] est donc la perspective de [h] prise du point $H = 760$.

Quant à l'échelle [λ], qui a même support que [$T + t$], nous la réduisons à son point milieu $y = \mu\rho$. La cote $T + t$ correspondante est donnée par :

$$\frac{\nu}{\mu} = 1 + \frac{2(T + t)}{1\,000} = \frac{18\,400}{18\,293}$$

d'où : $$T + t = 2^\circ{,}9.$$

CORRECTION DE TEMPÉRATURES AU BAROMÈTRE D'ALTITUDE

Formule de Laplace

$$N = 18293\,(1+0{,}002837\cos 2\lambda)\left[1+\frac{2(T+t)}{1000}\right]\log\frac{H}{h}$$

Formule approchée

$$N = 18400\log\frac{H'}{h'}$$

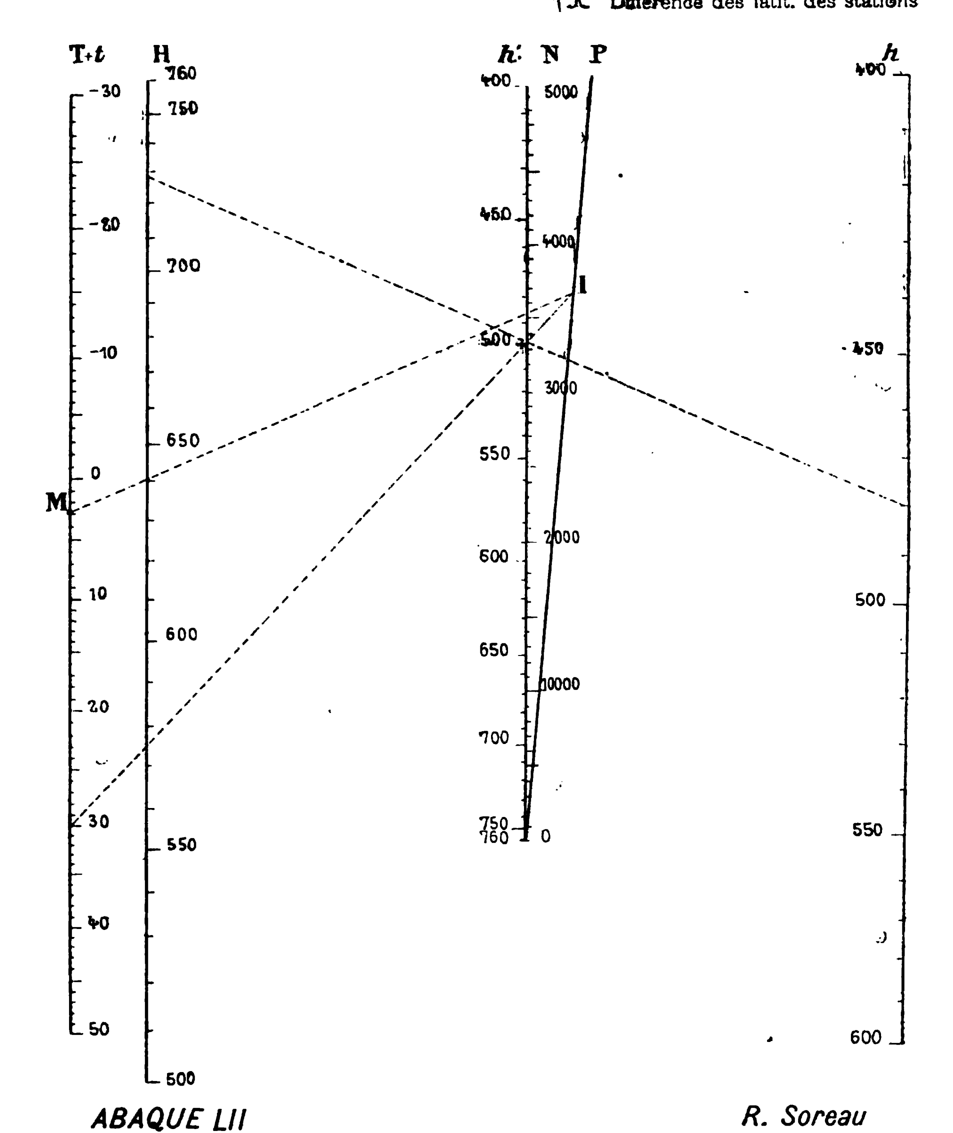
N Différence d'altitude des stations, en mètres

H, *h* Hauteurs barom. observ. aux stations, en m/m de mercure

H' *h'* Hauteurs barom. observ. aux stations, en m/m de mercure

T, *t* Températures observ. aux stations, en degrés centigr.

λ Différence des latit. des stations



ABAQUE LII

R. Soreau

Avec les paramètres choisis, l'axe des x, ou droite de concours P du double alignement, fait un angle très faible avec les échelles parallèles.

L'emploi de l'abaque est le suivant :

Si l'on se contente de la formule approchée, on se sert des échelles accolées : on a la valeur de N par simple lecture, quand $H = 760$, et par alignement des échelles [H], [h], [N] quand $H \neq 760$.

Si l'on veut faire la correction de températures, on prend la valeur N_1 comme ci-dessus, et l'on mène la droite $T + t$, N_1 jusqu'à son point d'intersection I avec P : l'alignement IM coupe [N] à la cote cherchée.

M. Prévot a donné une autre solution de ce problème en considérant simplement la proposée comme une équation à 3 variables (1).

(1) E. Prévot, *Topographie*, livre I, 1898 (Bibliothèque BCTP).

ÉQUATIONS A PLUS DE TROIS VARIABLES

A. — PRINCIPES GÉNÉRAUX

150. — Sauf pour les abaques mobiles, auxquels nous consacrerons un paragraphe spécial, les diverses méthodes imaginées pour représenter les équations à plus de 3 variables reviennent, en dernière analyse, à grouper tout ou partie des fonctions d'un certain nombre de variables $\alpha_1 \alpha_2 \ldots \alpha_k$, et à considérer momentanément les groupements qui comprennent les variables $\alpha_a \alpha_b \ldots \alpha_i$ comme des fonctions d'une seule variable auxiliaire α, les groupements qui comprennent les variables $\alpha_c \alpha_d \ldots \alpha_j$ comme des fonctions d'une seule variable auxiliaire α', et ainsi de suite. L'économie de cette méthode consiste à remplacer la proposée :

$$F(\alpha_1 \alpha_2 \ldots \alpha_k,\ \alpha_{k+1} \ldots \alpha_n) = 0,$$

par une équation à un nombre moindre de variables :

$$\Phi(\alpha, \alpha', \alpha'' \ldots, \alpha_{k+1} \ldots \alpha_n) = 0,$$

dont on sait construire un abaque. Or, du fait des groupements, il existe, entre les variables réelles (1) $\alpha_1 \alpha_2 \ldots \alpha_k$ et les p variables auxiliaires, p relations :

$$\varphi(\alpha, \alpha', \alpha'' \ldots, \alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_k) = 0,$$
$$\varphi'(\alpha, \alpha' \ldots, \alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_k) = 0,$$
$$\varphi''(\alpha'', \alpha''', \alpha \ldots, \alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_k) = 0,$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

telles que l'élimination de $\alpha, \alpha', \alpha'' \ldots$ entre ces équations $\varphi = 0$ et l'équation $\Phi = 0$ reproduise la proposée.

(1) Ici, le mot réel est opposé au mot auxiliaire, et non au mot imaginaire. Nous l'employons pour simplifier le discours.

I. — Abaques distincts.

151. — Les groupements seront formés de façon qu'on sache construire, non seulement un abaque de $\Phi = 0$, mais aussi un abaque de chacune des équations $\varphi = 0$. L'ensemble de ces *abaques distincts* donnerait donc une représentation graphique de $F_{12\ldots n} = 0$.

Cette méthode des abaques distincts ne va pas, en pratique, sans de nombreuses sujétions. Autant que possible, chaque équation φ ne doit comprendre qu'une variable auxiliaire ; en tous cas, il faut que la série des variables auxiliaires puisse se déduire, sans tâtonnements, de la série des abaques φ. D'autre part, il convient que chaque variable réelle $\alpha_1 \alpha_2 \ldots \alpha_k$ n'entre que dans une des équations φ ; cela est indispensable tout au moins pour celle qui constitue l'inconnue habituelle : s'il en était autrement, on ne pourrait la déterminer que par tâtonnements, pénibles si elle avait 2 systèmes figuratifs, inextricables si elle en avait plus de 2.

En outre, la représentation par abaques distincts oblige à coter les systèmes figuratifs des variables auxiliaires ; c'est le seul moyen de passer d'un abaque à un autre. Les erreurs systématiques de lecture sont ainsi multipliées, et les erreurs accidentelles plus faciles (1).

Aussi ne faut-il y avoir recours que pour certaines équations de formes compliquées, qui contiennent des fonctions transcendantes, et pour lesquelles on ne saurait appliquer les procédés ci-dessous, qui dérivent, d'ailleurs, du procédé général de groupements exposé ci-dessus.

II. — Abaques accolés.

152. — Il arrive fréquemment qu'on peut effectuer les groupements de façon que certaines équations $\varphi = 0$ contiennent

(1) C'est pour éviter cet inconvénient qu'au n° **134** nous n'avons pas représenté les équations :

$$\rho = \frac{R_1}{2 \sin \alpha}(m - 1),$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0{,}1047 \frac{R_1}{u},$$

par deux abaques distincts. A l'inverse de ce qui vient d'être dit concernant l'introduction de variables auxiliaires, nous avons, au contraire, éliminé la fonction α, introduite dans le problème pour arriver à des relations plus simples. Cette élimination était logique, puisqu'elle nous a conduit à une forme d'équation dont nous savions construire l'abaque.

une seule variable auxiliaire α, et que le système figuratif de cette variable soit le même dans les abaques Φ et φ. Ainsi, quand une équation φ est fonction de 3 variables, le réseau (α) de l'abaque φ est arbitraire, et l'on peut, théoriquement, le prendre identique au réseau (α) de l'abaque Φ.

Si l'on parvient à ce résultat pour un certain nombre d'abaques φ, il suffit de déplacer chacun de ces abaques de façon à faire coïncider son système figuratif (α_n) avec le système figuratif correspondant (α_n) de l'abaque Φ. Dans ce cas, il est évidemment inutile de coter ce système.

Les abaques $\varphi, \varphi', \varphi''$... sont alors *accolés* à l'abaque Φ suivant $(\alpha), (\alpha'), (\alpha'')$....

153. — L'accolement par réseaux curvilignes n'a jamais été employé, car il est extrêmement difficile à réaliser.

L'accolement par réseaux de droites (α) ou par courbes $[\alpha]$ est moins pénible à obtenir. Toutefois, on ne l'a pas employé jusqu'ici, par suite de la difficulté à découvrir les groupements $f(\alpha), \varphi(\alpha), \psi(\alpha)$ qui déterminent le réseau d'accolement :

$$xf(\alpha) + y\varphi(\alpha) + \psi(\alpha) = 0, \qquad (\alpha)$$

ou la courbe d'accolement :

$$\left\{ \begin{aligned} x &= \frac{f(\alpha)}{\psi(\alpha)} \\ y &= \frac{\varphi(\alpha)}{\psi(\alpha)} \end{aligned} \right. \qquad [\alpha]$$

Cependant, on pourrait y recourir utilement pour certaines formes d'équations.

1° C'est ce que nous allons faire, par exemple, pour l'équation à 4 variables :

$$(f_1 - f_2)(f_3 - f_4) + (f_1 f_4 - f_2 f_3)^2 = 0,$$

dont on ne saurait disjoindre les variables en deux groupes $(\alpha_1\alpha_2)(\alpha_3\alpha_4)$, et à laquelle, par conséquent, on ne peut appliquer les méthodes exposées au précédent Chapitre.

Posons :

$$A = \frac{f_1 - f_2}{f_1 f_4 - f_2 f_3}, \qquad B = \frac{f_4 - f_3}{f_1 f_4 - f_2 f_3}.$$

Or A et B sont les solutions du système :

$$f_1 B + f_3 A = 1,$$

$$f_2 B + f_4 A = 1.$$

Comme AB = 1, on peut poser B = tg α, A = cotg α, ce qui donne les groupements cherchés, car on substitue à la proposée les deux équations :

$$f_1 \operatorname{tg} \alpha + f_3 \operatorname{cotg} \alpha = 1,$$

$$f_2 \operatorname{tg} \alpha + f_4 \operatorname{cotg} \alpha = 1,$$

qu'on sait représenter par des abaques à entrecroisement ou à points alignés, ayant même système figuratif (α).

Quand on accole les abaques à alignement par la courbe [α], les supports des échelles [α_1] [α_2] d'une part, [α_3][α_4] d'autre part, se superposent 2 à 2. Si les fonctions f_1 et f_2, f_3 et f_4 sont différentes, il y aura deux graduations sur ces échelles (*fig.* 27); on écrira du côté gauche, par exemple, les graduations α_1 et α_3, qui appartiennent à un abaque; du côté droit, les graduations α_2 et α_4 qui appartiennent à l'autre abaque. Pour trouver α_4, on prendra l'alignement $\alpha_1\alpha_3$, d'où α, puis l'alignement $\alpha\alpha_2$, d'où α_4.

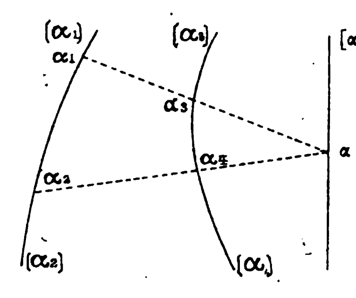


Fig. 27

2° On pourrait représenter de même l'équation :

$$(f_1 - f_2)^2 + (f_3 - f_4)^2 = (f_1 f_4 - f_2 f_3)^2.$$

A et B satisferaient alors à la relation $A^2 + B^2 = 1$, et l'on poserait B = sin α, A = cos α. On aurait alors à construire les abaques des équations :

$$f_1 \sin \alpha + f_3 \cos \alpha = 1,$$

$$f_2 \sin \alpha + f_4 \cos \alpha = 1.$$

La disposition schématique des abaques accolés par la courbe [α] serait encore celle de la figure 27.

Il serait aisé de multiplier ces exemples.

POINT A K COTES.

154. — L'accolement est particulièrement facile à réaliser pour les équations $F_{12\ldots n} = 0$ dont on peut opérer la disjonction, sous forme de déterminant, en groupant les variables $\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_k$ par des fonctions $f_{12\ldots k}$, $\varphi_{12\ldots k}$, $\psi_{12\ldots k}$, considérées momentanément comme ne dépendant que d'une seule variable. Tout le problème consiste alors à trouver un abaque de chacune des équations :

$$\left\{\begin{aligned} x &= \frac{f_{12\ldots k}}{\psi_{12\ldots k}}, \\ y &= \frac{\varphi_{12\ldots k}}{\psi_{12\ldots k}}. \end{aligned}\right. \qquad (P_{12\ldots k})$$

de façon que le premier abaque, par exemple, définisse l'abscisse x du point $P_{12\ldots k}$, soit par une droite $x = \alpha$ parallèle à Oy, soit par un point $x = \alpha$ de Ox. On aura ainsi soit un abaque à entrecroisement ayant K réseaux cotés et 1 réseau (α) non coté, formé des droites parallèles $x = \alpha$, soit un abaque à alignement ayant K courbes cotées, et 1 droite $[\alpha]$ non cotée $x = \alpha$.

De même, l'ordonnée y du point $P_{12\ldots k}$ sera déterminée soit par un abaque à entrecroisement ayant un réseau $y = \beta$ de droites parallèles non cotées, soit par un abaque à alignement ayant une droite non cotée $y = \beta$.

De tels abaques constituent des *échelles multiples rectilignes* parce qu'elles ont pour support la droite Ox ou la droite Oy. Il n'est du reste pas nécessaire de tracer ce support quand on a recours à une échelle à réseaux.

De même qu'en Géométrie analytique on peut changer les axes des coordonnées, de même on peut remplacer par d'autres échelles rectilignes les échelles multiples suivant Ox et Oy qui définissent le point $P_{12\ldots k}$. Ainsi, à l'échelle :

$$x = \frac{f_{12\ldots k}}{\psi_{12\ldots k}},$$

on peut substituer une échelle ayant pour support la droite :

$$ax + by + c = 0,$$

Cette échelle sera :

$$u = \frac{\varepsilon\sqrt{b^2 + a^2}}{b}\,\frac{f_{12\ldots k}}{\psi_{12\ldots k}},$$

ε ayant la valeur ± 1, de façon que $\frac{b}{\varepsilon\sqrt{b^2 + a^2}}$ soit le cosinus de l'angle α que fait le nouveau support avec l'axe Ox. On a donc :

$$x = u \cos \alpha$$

155. — Ainsi donc, pour déterminer dans le plan la position du point $P_{12\ldots k}$, auquel nous donnerons le nom de *point à K cotes*, il faut, en général, 2 échelles à K systèmes figuratifs cotés, soit en tout 2K systèmes cotés.

Toutefois, *s'il existe entre* $f_{12\ldots k}$, $\varphi_{12\ldots k}$, $\psi_{12\ldots k}$ *une relation homogène, le point* $P_{12\ldots k}$ *est représentable par une seule échelle multiple et une courbe non cotée, qui remplace la seconde échelle multiple.*

En effet, soit :

$$A(f_{12\ldots k}, \varphi_{12\ldots k}, \psi_{12\ldots k}) = 0,$$

cette relation. Comme elle est homogène, on peut y remplacer $f_{12\ldots k}$, $\varphi_{12\ldots k}$, $\psi_{12\ldots k}$ par les quantités proportionnelles x,y,t, ce qui donne :

$$A(x,y,t) = 0. \qquad [C]$$

Par suite, à l'une des deux équations $P_{12\ldots k}$ qui définissent le point à K cotes on peut substituer l'équation ci-dessus, ce qui revient à remplacer une des deux échelles multiples par la courbe non cotée [C].

Ainsi, pour fixer les idées, considérons le point à 3 cotes :

$$\begin{cases} x = lf_1 f_{34}, \\ y = \dfrac{m}{f_1 f_{34}}. \end{cases}$$

A l'échelle multiple y on substituera l'hyperbole équilatère

$$xy = lm,$$

et le point P_{134} sera donné par les intersections de cette hyperbole avec les droites parallèles $x = \alpha$, telles que :

$$\alpha = lf_1 f_{34}.$$

Il suffit donc de construire l'abaque de cette équation avec un système figuratif (α) formé de parallèles à Oy. Or, cette équation est de la forme $F(\alpha_1 \alpha) = F(\alpha_3 \alpha_4)$; on la représentera donc par un abaque tel que celui de la figure 3, où le réseau (α_2) est rem-

placé par le réseau de parallèles (α). On a ainsi, pour représenter le point P_{134}, une figure telle que 28.

Si les 3 réseaux (α_1) (α_3) (α_4) sont formés de droites, on

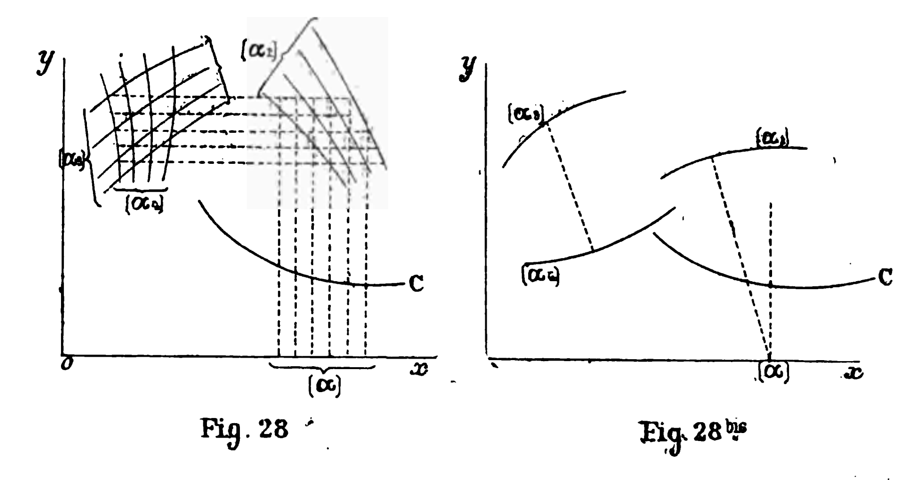


Fig. 28 Fig. 28 bis

pourra, par application de notre théorème du n° **95**, leur substituer des courbes cotées, et l'on aura ainsi le dispositif de la figure 28 *bis*.

156. — *Dans le cas particulier du point à 2 cotes, la représentation peut* toujours *se faire par un système de 2 réseaux, formant échelle binaire ou isolés suivant qu'il existe ou qu'il n'existe pas de relation homogène entre* $f_{12}, \varphi_{12}, \psi_{12}$.

La première partie de ce théorème résulte du précédent, comme cas particulier.

S'il n'existe pas de relation homogène entre $f_{12}, \varphi_{12}, \psi_{12}$, on peut éliminer successivement α_1 et α_2 entre :

$$x = \frac{f_{12}}{\psi_{12}},$$

$$y = \frac{\varphi_{12}}{\psi_{12}},$$

ce qui serait d'ailleurs impossible quand la relation homogène existe. Cette élimination donne :

$$F(xy\alpha_1) = 0, \qquad (\alpha_1)$$

$$\Phi(xy\alpha_2) = 0, \qquad (\alpha_2)$$

système qui équivaut au précédent. Les points figuratifs du point à 2 cotes sont déterminés par l'intersection de deux courbes des réseaux isolés (α_1) (α_2).

Remarque. — La notion du point à 2 cotes représentable par 2 réseaux isolés est due à M. d'Ocagne, qui a réservé à ce cas le nom de point à 2 cotes et a appelé point condensé le point qu'il faut projeter sur le support d'une échelle binaire rectiligne.

L'analyse générale que nous avons tenu à donner montre : 1° que, dans les deux cas, les coordonnées du point sont :

$$x = \frac{f_{12}}{\psi_{12}},$$

$$y = \frac{\varphi_{12}}{\psi_{12}};$$

2° qu'un tel point est représentable soit par 2 réseaux isolés, soit par 2 réseaux formant une échelle binaire à support rectiligne ou à support curviligne, c'est-à-dire condensés sur une droite ou sur une courbe. Ces trois modes de représentation sont exclusifs et complémentaires les uns des autres.

En raison de ces faits, il convient, croyons-nous, d'étendre le nom de point à 2 cotes à tout point dont les coordonnées sont des fonctions de 2 variables, et de réserver à chaque mode de représentation une appellation particulière. Nous donnerons donc au cas envisagé par M. d'Ocagne le nom significatif de point à 2 cotes ***à réseaux isolés***, par opposition à ***réseaux formant échelle binaire***, ou, abréviativement, ***échelle binaire***.

Échelles multiples rectilignes.

157. — On voit donc qu'on est ramené, en définitive, à chercher un mode de représentation de l'équation à K + 1 variables

$$\alpha = \chi_{12\cdots k},$$

par un abaque à entrecroisement dans lequel (α) est un réseau de droites parallèles $x = \alpha$, ou par un abaque à alignement dans lequel $[\alpha]$ est une droite $x = \alpha$.

Si l'abaque Φ de la théorie générale contient le réseau de parallèles (α) et que l'échelle multiple φ contienne la droite $[x]$, ou inversement, l'accolement peut néanmoins se faire. Nous en avons donné un exemple *(fig. 19)* avec l'équation :

$$F_{12} = F_{34},$$

dans le cas où $F_{12} = \alpha$ est représentable par un abaque à points alignés, et $F_{34} = \alpha$ par un abaque à entrecroisement.

Il y a donc lieu de chercher la représentation de :

$$\alpha = \chi_{12\cdots k},$$

par des abaques de l'un ou l'autre genre, avec système figuratif $x = \alpha$, sans se préoccuper de l'abaque Φ.

En conservant la terminologie de M. Lallemand, nous dirons que l'échelle est binaire si $K = 2$, ternaire si $K = 3$, quaternaire si $K = 4$; K est d'ailleurs le nombre des systèmes figuratifs cotés dans l'abaque à $K + 1$ variables, le $K + 1^{\text{ème}}$ système étant (α) ou $[\alpha]$.

158. — Échelles multiples a entrecroisement ; méthode de M. Ch. Lallemand. — *Échelles binaires.* — L'idée de l'échelle binaire à entrecroisement est due, nous l'avons dit, à M. Prévot. On prend pour abaque de :

$$\alpha = \chi_{12},$$

le réseau :

$$x = \alpha,$$

et deux réseaux dont un arbitraire :

$$f(x,y,\alpha_1) = 0,$$
$$f(x,y,\alpha_2) = 0,$$

tels que l'élimination de y entre eux donne :

$$x = \chi_{12}.$$

Généralement le réseau arbitraire est constitué par des parallèles à l'autre axe de coordonnées :

$$y = \alpha_1.$$

On obtient de suite la représentation des équations $F_{12} = F_{34}$ par l'accolement de deux échelles binaires.

L'échelle binaire à entrecroisement offre encore une disposition particulièrement avantageuse pour représenter par des abaques hexagonaux les équations :

$$f_{12} + f_{34} = f_{56}.$$

Cela résulte de ce qu'en rapportant chacune des 3 échelles binaires rectilignes à des axes rectangulaires et en disposant leurs axes respectifs Ox suivant le triangle équilatéral de l'abaque

hexagonal, les origines étant convenablement placées, les réseaux auxiliaires $x = \alpha$ sont précisément parallèles aux index, de sorte qu'on peut se dispenser de tracer ces réseaux, tout au moins pour deux directions, puisqu'il suffit, pour orienter le transparent, d'orienter un des index (*fig.* 29).

L'avantage est si réel que, lors même qu'il est possible de remplacer une ou plusieurs des échelles binaires à entrecroisement par des échelles binaires à points alignés, il y a lieu d'y renoncer dans les abaques hexagonaux : en effet, l'abaque serait

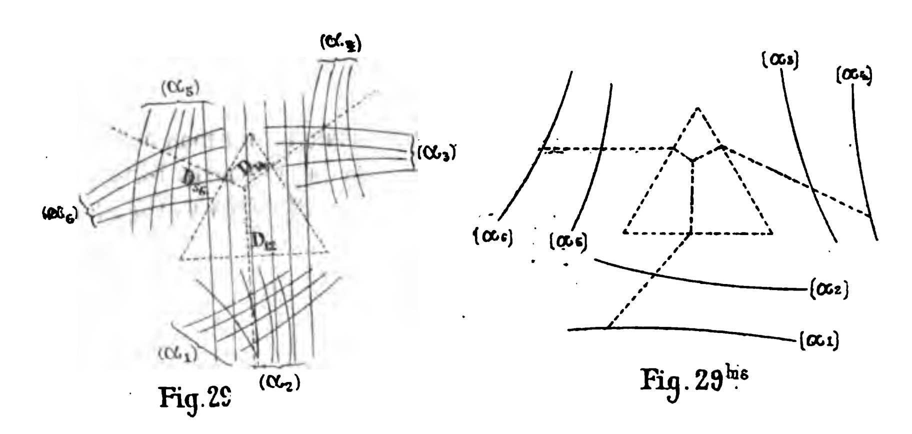


Fig. 29 Fig. 29 bis

moins chargé, mais la clé serait plus compliquée. Par exemple, α_6 étant l'inconnue, il faudrait (*fig.* 29bis) prendre les alignements $\alpha_1\alpha_2$, $\alpha_3\alpha_4$, pour obtenir les points P_{12}, P_{34} sur les supports des deux échelles binaires rectilignes, puis se servir du transparent à trois index pour déterminer le point P_{56} de la troisième échelle binaire, d'où l'on déduirait α_6 par l'alignement $P_{56}\alpha_5$. En conservant, au contraire, les échelles binaires à réseaux, il suffit (*fig.* 29) de faire passer deux index par les points $\alpha_1\alpha_2$, $\alpha_3\alpha_4$, et le troisième index coupe α_5 en un point par lequel passe la courbe cherchée α_6.

159. — *Échelles ternaires et quaternaires.* — C'est évidemment en raison de cet avantage que M. Lallemand a imaginé, pour généraliser son abaque hexagonal, des échelles ternaires et quaternaires à entrecroisement, avec réseaux de parallèles $x = \alpha$.

a) Soit l'échelle quaternaire :

$$\alpha = \varphi(\alpha_1\alpha_2)\psi(\alpha_3\alpha_4),$$

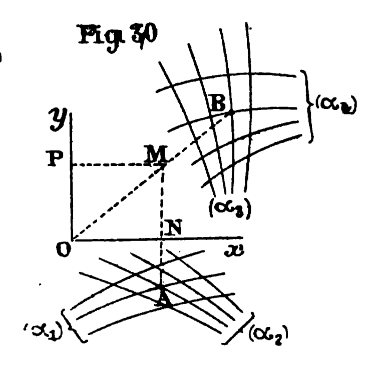
Prenons :

$$x = \varphi(\alpha_1\alpha_2),$$
$$y = x\psi(\alpha_3\alpha_4),$$

d'où :

$$y = \alpha.$$

La première équation est une échelle binaire rectiligne constituée *(fig. 30)* par un réseau de parallèles à Oy passant à travers deux réseaux (α_1) (α_2). La deuxième équation est constituée par un faisceau de radiantes issues du point O et passant à travers deux réseaux (α_3) (α_4). La troisième équation est le réseau (α) cherché, formé de parallèles à Ox.



Ainsi donc, la droite MP du réseau (α) qui correspond à des valeurs $\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4$ des variables s'obtient de la façon suivante : prendre la parallèle à Oy qui passe par le point $\alpha_1\alpha_2$, puis la radiante qui passe par le point $\alpha_3\alpha_4$; par leur intersection M, mener MP parallèle à Ox : MP est une droite du réseau (α), P est un point de l'échelle $[\alpha]$.

D'après la figure même, on voit que l'ensemble des réseaux cotés (α_1) (α_2) peut être déplacé dans la direction Oy, et que l'ensemble des réseaux (α_3) (α_4) peut être remplacé par deux réseaux semblables, le centre de similitude étant O. On évite ainsi aisément la superposition des deux groupes de réseaux cotés.

b) Soit l'échelle quaternaire :

$$\alpha = \varphi(\alpha_1\alpha_2)\psi(\alpha_3\alpha_4) + \xi(\alpha_3\alpha_4),$$

Prenons :

$$x = \varphi(\alpha_1\alpha_2),$$
$$y = x\psi(\alpha_3\alpha_4) + \xi(\alpha_3\alpha_4),$$

d'où :

$$y = \alpha.$$

L'abaque ne diffère du précédent qu'en ce que le réseau qui passe à travers les réseaux (α_3) (α_4) est formé de droites quelconques, et non de radiantes.

c) Soient les échelles ternaires :

$$\alpha = \varphi(\alpha_1\alpha_2)\psi(\alpha_3),$$
$$\alpha = \varphi(\alpha_1\alpha_2)\psi(\alpha_3) + \xi(\alpha_3).$$

Elles diffèrent des échelles quaternaires correspondantes en ce que le réseau non coté qui passait à travers les réseaux (α_3) (α_4) est remplacé simplement par un réseau coté (α_3) formé de radiantes pour la première échelle. et de droites quelconques pour la seconde.

160. — *Échelles rectilignes d'ordre supérieur à 4.* — On arrive facilement à la représentation de l'échelle :

$$\alpha = \varphi(\alpha_1\alpha_2)\psi(\alpha_3\alpha_4)\chi(\alpha_5\alpha_6)\xi(\alpha_7\alpha_8)\ldots$$

en posant :

$$\begin{aligned} x &= \varphi(\alpha_1\alpha_2), \\ y &= x\psi(\alpha_3\alpha_4), \\ -x &= y\chi(\alpha_5\alpha_6), \\ -y &= -x\xi(\alpha_7\alpha_8), \\ &\ldots\ldots\ldots \\ &\ldots\ldots\ldots \end{aligned}$$

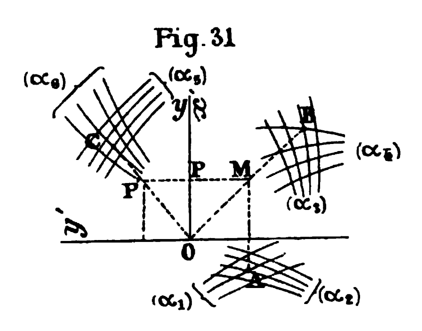
d'où :

$$\alpha = \pm x \text{ ou } \pm y.$$

On prend $\pm x$ ou $\pm y$ de façon qu'en multipliant membre à membre, les x et les y s'éliminent, et qu'on retrouve la proposée.

La première équation se représente par un réseau de parallèles à Oy à travers deux réseaux (α_1) (α_2). Les autres équations, sauf la dernière, se représentent par des faisceaux de radiantes issues du point O, à travers les réseaux (α_3) (α_4), (α_5) (α_6), etc.

Fig. 31



La dernière équation donne le réseau cherché, parallèle à l'un ou à l'autre des axes de coordonnées, suivant le nombre des fonctions $\varphi, \psi, \chi\ldots$

Ainsi l'échelle :

$$\alpha = \varphi(\alpha_1\alpha_2)\psi(\alpha_3\alpha_4)\chi(\alpha_5\alpha_6).$$

est représentée par la figure 31. Le réseau (α) est formé de parallèles à Oy passant par des points tels que P'. L'échelle non cotée $[\alpha]$ est Oy'.

161. — ÉCHELLES RECTILIGNES A ALIGNEMENT DÉRIVÉES DE NOS MÉTHODES. — Quand les échelles de M. Lallemand ont leurs réseaux

cotés composés de droites, on peut les transformer en échelles à alignement. C'est par l'emploi nouveau de ces dernières échelles que nous pourrons donner dans ce Mémoire, pour des équations à plus de 4 variables, des abaques ne contenant que des courbes cotées, résultat qui n'avait encore été obtenu que pour les équations de la forme canonique :

$$f_1 + f_2 + \dots + f_n = 0.$$

162. — *Échelles binaires.* — Nous avons montré (**95**) comment on transforme l'échelle binaire de M. Prévot, quand les réseaux sont rectilignes, en une échelle binaire à points alignés donnant sur Ox les points $x = \alpha$.

Cette transformation nous a conduit de suite aux abaques à double alignement concourant et, de là, à la théorie générale du double alignement.

163. — *Échelles d'ordre supérieur.* — De ces abaques à double alignement, à leur tour, nous déduisons toute une famille d'échelles ternaires, par exemple :

$$\begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & d & 1 \\ f_2 & \varphi_2 & d & 1 \\ f_3 & \varphi_3 & 0 & 1 \\ l\alpha & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

Si du reste la ligne (α) se présente sous la forme :

$$| \quad a\alpha + b \quad c\alpha + d \quad k(c\alpha + d) \quad e\alpha + f \quad |,$$

on pourra, par les procédés indiqués au n° **107**, la ramener à la forme voulue :

$$| \quad l\alpha \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad |;$$

nous représenterons, de préférence, cette échelle ternaire par un abaque à double alignement en équerre.

Les types d'équations à plus de 4 variables, dont nous découvrons ainsi la représentation par abaques à courbes cotées, peuvent à leur tour servir d'échelles si elles contiennent une droite ; il suffit de ramener :

$$| \quad af_i + b \quad cf_i + d \quad k(cf_i + d) \quad ef_i + f \quad |,$$

qui représente la droite, à la forme :

$$| \quad lf_i \quad o \quad o \quad 1 \quad |,$$

et de poser $f_i = x$.

Ainsi, nous pouvons construire un abaque à courbes cotées de l'équation :

$$f = f_1 f_2 f_3 (f_4 + f_5),$$

en prenant :

$$f = f_1 f_2 \beta,$$

$$\beta = f_3 (f_4 + f_5).$$

Représentons la première par l'abaque à double alignement en équerre résultant de la proportion :

$$\frac{f}{f_1} = \frac{\beta}{\frac{1}{f_2}},$$

et la seconde par l'abaque à double alignement en équerre du n° **131**. On donne à ces abaques même échelle β, et on les accole par cette échelle (*fig. 32*). De ce nouvel abaque, on déduit une échelle d'ordre 5 à courbes cotées, en posant $f = x$. La construction pour déterminer le point x correspondant aux valeurs $x_1 x_2 \dots x_5$ est la suivante :

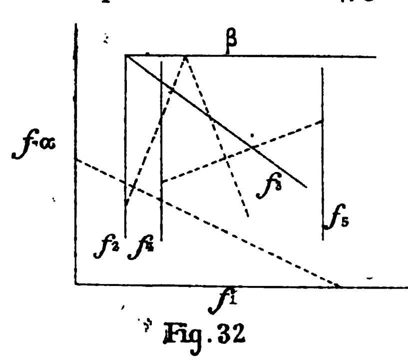


Fig. 32

Faire passer une branche de l'équerre par $x_4 x_5$, l'autre par x_3, d'où β ; faire pivoter la deuxième branche autour du point β, de manière qu'elle passe par x_2 ; faire glisser le transparent suivant βx_2, de façon que la première branche passe par x_1 : elle passe alors par x. Ces opérations sont moins longues à exécuter qu'à décrire.

164. — Dans tout ce qui précède, nous avons considéré une équation donnée $F_{12\dots n} = o$, et, par certains groupements, nous avons ramené cette équation à une autre $\Phi(x, x' \dots, x_{k+1} \dots x_k) = o$, d'un nombre moindre de variables, dont nous savons construire l'abaque.

Inversement, considérons une forme d'équation $\Phi = o$, dont nous savons construire l'abaque : en y remplaçant des fonctions d'une seule variable par des fonctions de plusieurs variables, on

crée de nouvelles formes d'équations dont on sait construire les abaques, puisqu'il suffit de remplacer les échelles simples par des échelles multiples, les points à 1 cote par des points à plusieurs cotes, etc.

Cette méthode pour rechercher des formes nouvelles d'équations s'applique notamment, et avec une grande souplesse, aux équations représentables par des abaques à simple ou à double alignement. Pour ces dernières, par exemple, il suffira, grâce à la forme que nous leur avons donnée, de substituer à la ligne :

$$| \quad f_i \qquad \varphi_i \qquad l\varphi_i \qquad \psi_i \quad |$$

une ligne :

$$| \quad f_{12\cdots k} \qquad \varphi_{12\cdots k} \qquad l\varphi_{12\cdots k} \qquad \psi_{12\cdots k} \quad |$$

On conçoit donc toute la fécondité de notre théorie du double alignement, qui vient compléter et agrandir le champ des applications ouvert par M. d'Ocagne avec sa théorie de l'alignement simple. C'est surtout en vue de ces généralisations que nous avons réservé tout un Chapitre à l'alignement double.

Quand la disjonction n'est pas opérée, mais que la proposée dérive d'une forme connue par la substitution de fonctions à

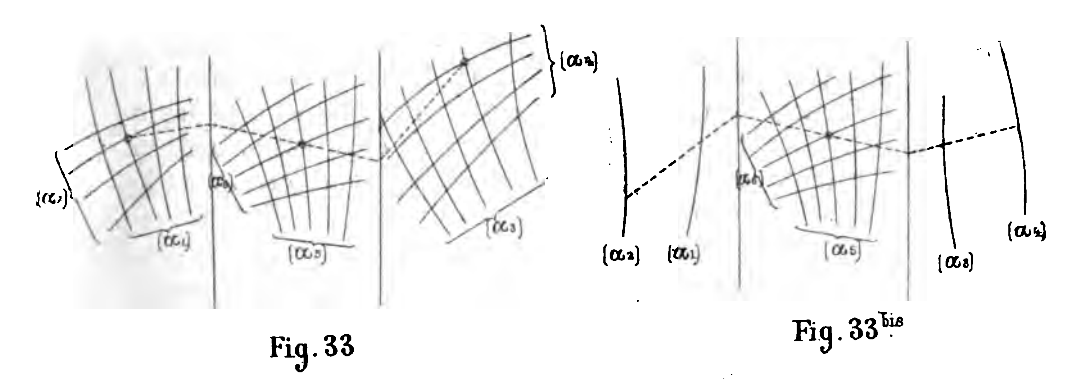


Fig. 33 — Fig. 33 bis

plusieurs variables aux fonctions à 1 variable, on connaîtra immédiatement un des abaques qui la représentent.

Ainsi l'équation à 6 variables :

$$F_{12} f_{56} + \Phi_{34} \varphi_{56} + \psi_{56} = 0,$$

est la généralisation de :

$$f_1 f_3 + f_2 \varphi_3 + \psi_3 = 0.$$

D'après ce qui a été dit au n° **78**, on pourra la représenter (*fig. 33*) par deux échelles binaires parallèles à réseaux $\alpha_{12} = lF_{12}$,

$u_{43} = m\Phi_{34}$, et par un couple de réseaux isolés $(\alpha_5)(\alpha_6)$. La clef est alors la suivante : α_6 étant l'inconnue, on mène par le point $\alpha_1\alpha_2$ la parallèle à la direction $x = \alpha$ de la première échelle binaire, d'où le point P_{12} sur le support de cette échelle ; $\alpha_3\alpha_4$ déterminent de même le point P_{34}; la droite $P_{12}P_{34}$ coupe la courbe α_5 en un point C, et la cote de la courbe du réseau (α_5) qui passe par ce point donne la solution.

Si les réseaux (α_1) (α_2) (α_3) (α_4) sont formés de droites, on pourra les remplacer par des courbes cotées *(fig. 33 bis)*.

165. — De ce que nous avons dit sur les points multiples, il résulte que :

1° Si la ligne :

$$| \quad f_i \quad \varphi_i \quad l\varphi_i \quad \psi_i \quad | \quad .$$

du déterminant primitif donne lieu à une courbe cotée, le point multiple $P_{12\ldots k}$ qu'on substitue au point simple est représentable en général par 2 échelles multiples rectilignes, c'est-à-dire par $2k$ systèmes figuratifs cotés;

2° S'il existe une relation homogène entre $f_{12\ldots k}$, $\varphi_{12\ldots k}$, $\psi_{12\ldots k}$, la ligne du nouveau déterminant donne lieu à une seule échelle multiple, rectiligne ou curviligne suivant que cette relation est ou n'est pas linéaire. Une telle relation existe toujours quand le nouveau déterminant est déduit du premier, non pas en remplaçant $f_i\,\varphi_i\,\psi_i$ par des fonctions quelconques à k variables, mais en remplaçant α_i par une fonction de k variables $\chi(\alpha_i\alpha_j\ldots\ldots)$. En effet, le point à k cotes :

$$x = \frac{f(\chi)}{\psi(\chi)},$$

$$y = \frac{\varphi(\chi)}{\psi(\chi)},$$

est sur la courbe $F(xy) = o$ qu'on obtient par l'élimination de χ entre ces deux équations. Or, éliminer χ revient à éliminer α_i : l'échelle multiple a donc pour support la courbe $[\alpha_i]$ de l'abaque primitif;

3° Si la ligne du nouveau déterminant ne contient que 2 variables, elle donne lieu, dans tous les cas, à 2 réseaux seulement, accolés ou non à un support.

La proposée $F_{12\ldots n} = o$ étant mise sous la forme d'un déterminant, il suffira de multiplier par le déterminant 3 à 9 ou 12 para-

mètres précédemment envisagé pour obtenir la famille des abaques homographiques de l'abaque générateur. On calculera les paramètres de δ en vue d'une bonne disposition de l'abaque.

166. — D'une façon générale, la décomposition de la proposée en un système d'équations $\Phi = o$, $\varphi = o$, $\varphi' = o$..., *représentables par des abaques à alignement*, permet, par la considération de l'ordre nomographique de chaque équation, de voir si le système figuratif d'une variable réelle quelconque α_i est une droite ou une courbe.

Quand α_i n'a qu'un seul système figuratif, celui-ci est une droite si les fonctions de α_i qui entrent dans la proposée sont reliées par une expression linéaire. Dans le cas contraire c'est une courbe.

Si α_i a plusieurs systèmes figuratifs, on considèrera comme distinctes les variables α_i correspondant à chaque système, et alors la proposition ci-dessus subsistera.

Ces propositions supposent, nous le répétons, qu'on puisse opérer la disjonction des équations $\Phi = o$, $\varphi = o$, $\varphi' = o$ par des déterminants à 3 ou 4 lignes.

B — APPLICATIONS

167. — En particulier, quand les groupements permettent de ramener la proposée à une équation $\Phi = o$ à 3 ou 4 variables pour lesquelles la disjonction est possible, le problème consiste à représenter des points à plusieurs cotes, et, sauf dans le cas du point à 2 cotes représentable par réseaux isolés, cela revient à construire des échelles multiples.

Nous avons donc adopté la classification suivante dans les exemples des principes qui viennent d'être exposés :

1° Échelles multiples à support curviligne ;

2° Échelles multiples à support rectiligne à réseaux cotés ;

3° Échelles multiples à support rectiligne à courbes cotées ;

4° Point à 2 cotes à réseaux isolés.

Puis nous considérerons la combinaison générale de ces divers modes de représentation, et nous terminerons par l'étude particulière des formes canoniques.

I. — Échelles multiples à support curviligne.

168. — A notre connaissance, on n'avait pas envisagé jusqu'ici ces échelles pour la généralisation des abaques à simple ou à double alignement, et l'abaque ci-dessous est, croyons-nous, le premier de ce genre.

169. — Exemple : *Épaisseur des tôles des foyers cylindriques (Abaque LIII).* — M. C. Bach, professeur à la Technische Hochschule de Wurtemberg, a proposé la formule suivante :

$$e = \frac{\mathrm{P}d}{2000}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{a}{\mathrm{P}}\frac{l}{l+d}}\right),$$

qui donne l'épaisseur e des tôles en fonction de la pression P, du diamètre intérieur du tube d, et de la longueur l entre deux renforcements, ces quantités étant mesurées dans le système d'unités indiquées à la légende de l'abaque ; a est un coefficient qui a les valeurs suivantes :

100	pour foyers horizontaux avec rivure longitudinale		à recouvrement ;
80	—	—	à couvre-joints ou soudés ;
70	pour foyers verticaux	—	à recouvrement ;
50	—	—	à couvre-joints ou soudés.

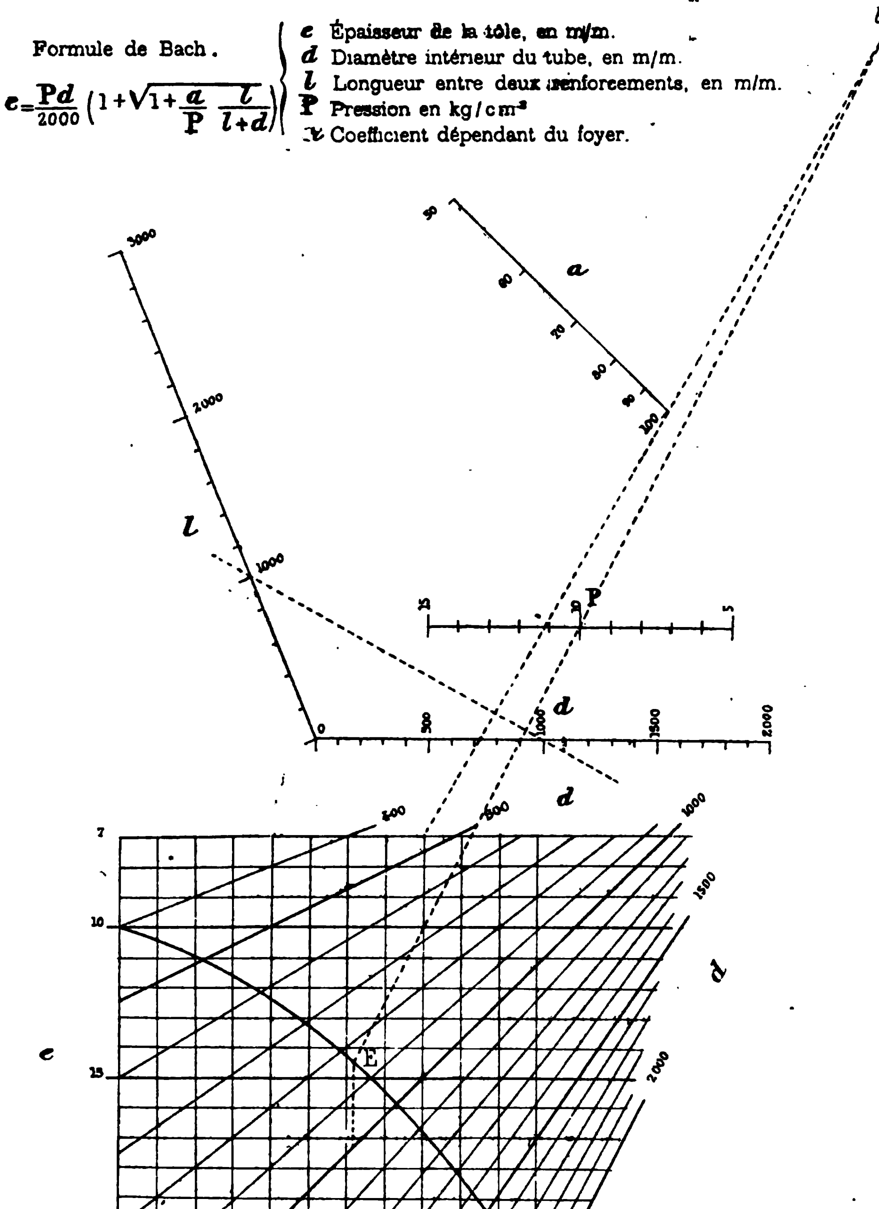
La valeur minimum à prendre pour l'épaisseur sera de 7 *mm* (1).

La formule précédente est basée sur les essais de Fairbairn en 1858, les observations de Grashof et de Love, les recherches de Richard en 1881, et surtout sur les essais de dix-huit foyers ondulés exécutés à Dantzig de 1887 à 1892 : ces derniers ont démontré que la formule donne un coefficient de sécurité variant de 6 à 8.

La formule de Bach est maintenant très employée en Allemagne, et M. G. Eckermann, ingénieur en chef de l'Association de Hambourg, a calculé, pour son application rapide, des tableaux à double entrée qui donnent e en fonction de d pour des valeurs de a, l et P, a ayant les valeurs 100 et 80, l variant de 0,25 *m* à 3 *m* par intervalles de 25 *mm*, et p de 1 à 15 *kg* par intervalles

(1) Bach, *Die Maschinen Elemente*, Stuttgard, 1897.

ÉPAISSEUR DES TOLES DES FOYERS CYLINDRIQUES



ABAQUE LIII

R. Soreau

de 0,5 *kg* (1). Ces tableaux sont reproduits dans la *Revue de Mécanique* (2). On peut très facilement leur substituer un abaque.

Prenons deux variables auxiliaires :

$$E = \frac{2\,000\, e}{d}, \qquad b = a\,\frac{l}{l+d}.$$

La première va nous donner un exemple d'échelle binaire à support curviligne, la deuxième étant une échelle ternaire à support rectiligne. La transformée $\Phi = 0$ est alors :

$$\left(\frac{E}{P} - 1\right)^2 = 1 + \frac{b}{P},$$

qu'on peut écrire :
$$P = \frac{E^2}{2E + b},$$

d'où l'abaque à points alignés :

$$\begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array}\begin{vmatrix} [x] & [t] & [y] \\ E^2 & 2E & 1 \\ 0 & -b & 1 \\ P & 1 & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

On a donc :

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{\lambda E}{2} \\ y &= \frac{\mu}{2E} \end{aligned}\right\} [E] \qquad \left.\begin{aligned} x &= 0 \\ y &= -\frac{\mu}{b} \end{aligned}\right\} [b] \qquad \left.\begin{aligned} x &= \lambda P \\ y &= 0 \end{aligned}\right\} [P]$$

(E) est un point à 2 cotes (*e*, *d*) représentable par l'échelle binaire :

$$x = 1\,000\,\lambda\,\frac{e}{d},$$

avec le support curviligne :

$$xy = \frac{\lambda\mu}{4}.$$

Nous la constituerons par 2 réseaux cotés :

$$y = \nu e, \qquad (e)$$

$$x = 1\,000\,\frac{\lambda}{\nu}\,\frac{y}{d}, \qquad (d)$$

(1) G. Eckermann, *Tabellen über die Blechdicken*, Hambourg, 1895.
(2) F. Sinigaglia, *Accidents des chaudières à vapeur*, mai 1900.

et par 1 réseau de droites non cotées $x = \alpha$, tracées en traits fins sur l'abaque, et qui serviront à projeter les points d'intersection des courbes e et d sur l'hyperbole de support.

Reste à construire l'échelle ternaire :

$$b = a \frac{l}{l + d},$$

avec un support $y = -\frac{\mu}{b}$. Pour cela nous l'écrirons :

$$\begin{vmatrix} 0 & -\frac{1}{b} & 0 & 1 \\ \frac{1}{a} & 0 & 0 & 1 \\ -l & -l & 1 & 1 \\ 0 & d & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

d'où l'abaque à double alignement parallèle (que nous avons transformé en un abaque à double alignement en équerre) :

$$\left.\begin{array}{l} x = 0 \\ y = -\frac{\mu}{b} \end{array}\right\} [b] \qquad \left.\begin{array}{l} x = \frac{\lambda'}{a} \\ y = 0 \end{array}\right\} [a]$$

$$\left.\begin{array}{l} x = \nu'\lambda' l \\ y = \nu'\mu l \end{array}\right\} [l] \qquad \left.\begin{array}{l} x = 0 \\ y = -\nu'\mu d \end{array}\right\} [d]$$

Nous avons construit cet abaque particulier en lui donnant un axe des x propre, faisant avec Oy un angle de 135° environ, alors que, dans l'abaque de $\Phi = 0$, les axes de coordonnées sont rectangulaires.

Eu égard au champ des diverses variables et aux dimensions de la feuille, nous avons pris, en millimètres :

$$\lambda = 4, \qquad \mu = 4000, \qquad \nu = 4,$$

$$\lambda' = 4000, \qquad \nu'\lambda' = \nu'\mu = \frac{3}{100}.$$

L'emploi de l'abaque LIII est très simple. Soient, par exemple, $P = 10$ *kg*, $l = 1\,000$ *mm*, $d = 1\,000$ *mm*, avec un genre de chaudières pour lequel $a = 100$. On déterminera l'épaisseur e de la tôle comme suit : prendre un transparent avec deux index en équerre, faire passer un index par $l = 1000$, $d = 1000$, et

l'autre index par $a = 100$, d'où le point auxiliaire b ; faire pivoter le deuxième index autour de b, de façon à prendre l'alignement b, $P = 10$, d'où, sur l'hyperbole, le point auxiliaire E; prendre l'intersection de la verticale du réseau auxiliaire $x = \alpha$ qui passe par E avec la droite cotée 1000 dans le réseau (d); la droite du réseau (e) qui passe par ce point est cotée 17,25 : c'est l'épaisseur cherchée.

La résolution de la formule donnerait $e = 17{,}248$ *mm.*

II. — Échelles multiples à support rectiligne à réseaux cotés.

170. — Les échelles binaires de ce genre sont dues, nous l'avons dit, à M. Prévot, les échelles ternaires, quaternaires, etc., à M. Lallemand. Elles peuvent être utilement employées, en particulier, pour les équations de la forme :

$$f = \varphi,$$

$$f + \varphi = \psi,$$

où f, φ, ψ sont des fonctions de plusieurs variables.

Pour la première forme, on accolera les deux échelles $f = \alpha$, $\varphi = \alpha$: nous en avons donné un exemple avec l'abaque XXXII de la jauge des yachts.

Pour la deuxième forme, on disposera de préférence les échelles $f = \alpha$, $\varphi = \beta$, $\psi = \gamma$, de façon à obtenir un abaque hexagonal : ce genre d'abaques a été systématiquement employé par MM. Prévot et Lallemand ; nous allons en donner quelques exemples.

a) Échelles binaires.

171. — Exemples : *1° Poussée des terres (Abaque LIV).* — La poussée des terres sur un mur vertical de soutènement peut se calculer par la formule de M. Boussinesq, écrite à la légende de l'abaque, avec la signification des variables. L'anamorphose logarithmique donne :

$$f_P = f_{\varpi H} + f_{\varphi\varphi_1}$$

avec

$$f_P = \log P$$

$$f_{\varpi H} = \log \varpi + 2 \log H$$

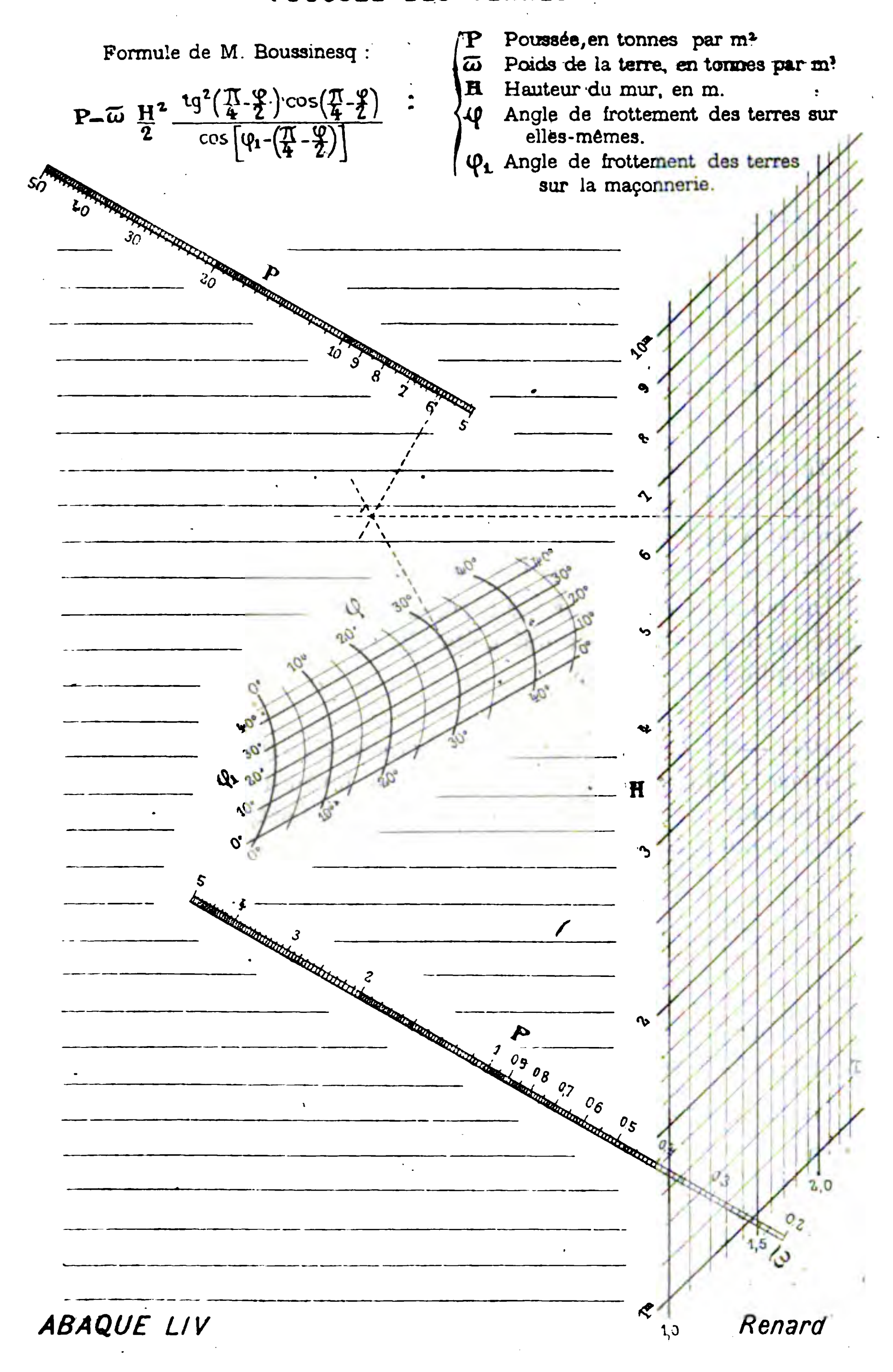
$$f_{\varphi\varphi_1} = \log \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - \log \cos\left[\varphi_1 - \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)\right] - \log 2.$$

POUSSÉE DES TERRES

Formule de M. Boussinesq :

$$P = \varpi \frac{H^2}{2} \frac{tg^2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)\cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)}{\cos\left[\varphi_1-\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)\right]}$$

- P Poussée, en tonnes par m²
- ϖ Poids de la terre, en tonnes par m³
- H Hauteur du mur, en m.
- φ Angle de frottement des terres sur elles-mêmes.
- φ_1 Angle de frottement des terres sur la maçonnerie.



ABAQUE LIV

Renard

On peut choisir arbitrairement un réseau dans chaque échelle binaire. On prendra par exemple (chaque échelle binaire ayant son système propre d'axes Ox, Oy) :

$$\begin{cases} y = l \log \varpi \\ x = \frac{y}{l} + 2 \log H \end{cases}$$

$$\begin{cases} y = l' \frac{\varphi}{2} \\ x = \log \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{y}{l'}\right) - \log \cos\left[\varphi_1 - \left(\frac{\pi}{4} - \frac{y}{l'}\right)\right] - \log 2 \end{cases}$$

Tel est l'abaque construit par M. Renard. L'échelle [P] a été coupée pour obtenir une plus longue graduation. La position des index correspond à l'exemple $\varpi = 2\ t$, $H = 4{,}5\ m$, $\varphi = 30°$, $\varphi_1 = 35°$; l'abaque donne $P = 5{,}87\ t$.

On pourrait remplacer les 2 réseaux (ϖ) et (H) par 2 courbes cotées, mais, d'après ce qui a été dit, ce serait au détriment de la simplicité de la clef.

172. — 2° *Erreur moyenne dans les cheminements d'un levé goniométrique (Abaque LV).* — Reprenons la formule du n° **127** en remplaçant la tolérance τ par la moitié de l'erreur moyenne η sur le point terminus :

$$\eta = 15{,}708 \omega L \sqrt{\frac{\left(n + \frac{1}{2}\right)(n+1)}{3n}}.$$

En opérant l'anamorphose logarithmique, on a une équation représentable par un abaque hexagonal avec une échelle binaire.

Comme nous l'avons dit (**57**), l'abaque hexagonal est un abaque à entrecroisement dans lequel on peut remplacer les 3 réseaux de parallèles par 3 perpendiculaires cotées, ce qui simplifie les tracés, mais oblige à employer un transparent mobile à trois index, ou à effectuer la construction correspondante. M. Prévot a souvent préféré construire les réseaux, ce qui donne un tracé plus compliqué, et parfois moins clair : mais la solution se lit de suite par l'entrecroisement de 3 lignes.

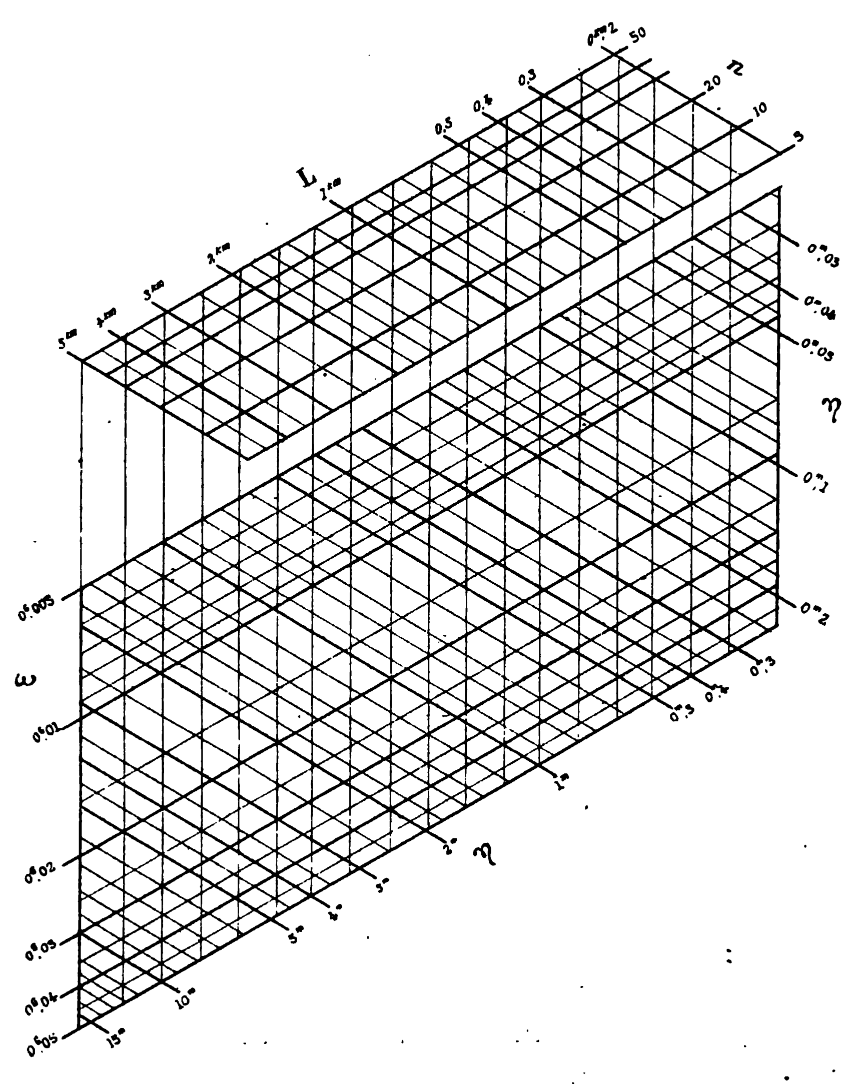
ERREUR MOYENNE DANS LES CHEMINEMENTS

d'un levé goniométrique

Formule :

$$\eta = 15.708\ \omega\ L \sqrt{\frac{(n+\frac{1}{2})(n+1)}{3n}}$$

- η Erreur moyenne sur le point terminus, en mètres.
- ω Erreur moyenne sur chaque côté, en grades.
- n Nombre de cotés du cheminement.
- L Distance des points extrêmes du cheminement, en km.



ABAQUE LV

E. Prévot

Tel est l'abaque qu'il a construit (1) pour la formule ci-dessus, en l'écrivant :

$$\log \eta - \log 15{,}708\ \omega = \log \alpha,$$

$$\log L + \frac{1}{2} \log \frac{\left(n + \frac{1}{2}\right)(n + 1)}{3n} = \log \alpha.$$

On a donc deux abaques formés chacun de 3 réseaux de parallèles dont les directions font entre elles des angles de 60° ; on les accole par le réseau auxiliaire (α). Le mode d'emploi est le suivant : pour trouver η, prendre le point (L, n) sur l'abaque supérieur, et descendre sur la verticale de ce point jusqu'à son intersection avec ω : la droite η qui passe par cette intersection donne la valeur cherchée.

Notre abaque à double alignement XXXIX est plus simple, mais il exige le tracé de deux droites en équerre ou mieux l'emploi d'un transparent.

b) Échelles ternaires.

173. — Exemple : *Déviation du compas (Abaque LVI).* — La déviation du compas d'un navire est donnée par la formule :

$$\delta = A + m \sin \zeta + n \cos \zeta + B \sin 2\zeta + C \cos 2\zeta.$$

ζ est le cap du compas, A, B, C sont des constantes particulières au navire, m et n sont les fonctions suivantes :

$$m = \text{arc sin} \left[\frac{1}{\lambda} \left(e \operatorname{tg} \theta + \frac{P}{H}\right)\left(1 + \frac{1}{2} \sin B\right)\right] \qquad (1)$$

$$n = \text{arc sin} \left[\frac{1}{\lambda} \left(f \operatorname{tg} \theta + \frac{Q}{H}\right)\left(1 - \frac{1}{2} \sin B\right)\right] \qquad (2)$$

Dans ces fonctions, tout est constant, sauf l'inclinaison magnétique θ et la composante magnétique horizontale H du lieu.

On voit que la formule qui donne δ, eu égard aux valeurs de m et de n, est extrêmement compliquée. Elle peut néanmoins se résoudre très facilement avec un abaque relativement simple.

Posons :

$$x = \delta$$

$$x' = m \sin \zeta$$

$$x'' = n \cos \zeta + B \sin 2\zeta + C \cos 2\zeta + A$$

d'où :

$$x = x' + x''.$$

(1) E. Prévot, *Topographie*, livre II, 1900. (Bibliothèque B. C. T. P.).

La déviation du compas peut donc se représenter par un abaque hexagonal dans lequel α est une échelle simple régulière, α' et α'' sont des échelles ternaires, fonctions de ζ, θ et H. Les supports de ces échelles forment un triangle équilatéral *(fig. 34)*.

Construisons l'échelle ternaire α'. Prenons comme axes de cette échelle deux droites rectangulaires $O'x'$, $O'y'$, cette dernière formant support. On la constituera avec l'échelle binaire :

$$x' = m(\theta, \mathrm{H}),$$

et les radiantes $$y' = x' \sin \zeta.$$

Or, il existe des planisphères sur lesquels ont été tracées, d'après les résultats de nombreuses observations, les courbes isomagnétiques θ et H du globe, de sorte qu'on détermine par simple lecture les valeurs de θ et H en un point quelconque de coordonnées géographiques l et L. On peut donc exprimer l'échelle binaire x' en fonction, non plus de θ et de H, mais de la latitude l et de la longitude L. Prenons par exemple pour réseau (L) :

$$y'_{\mathrm{L}} = \mathrm{L}$$

constitué par des parallèles à $O'x'$ déplacées parallèlement à elles-mêmes vers le bas de la figure 34, afin d'éviter la confusion : pour construire une courbe quelconque l' du réseau (l), suivons la latitude l' sur un des planisphères dont il vient d'être question, et relevons-y les groupes de valeurs θ et H des isomagnétiques qui s'y croisent, pour des valeurs notées de L; à chacun de ces groupes correspond une valeur de m donnée par la formule (1), et, comme $x' = m$, $y'_{\mathrm{L}} = \mathrm{L}$, nous avons par points la courbe l'. Nous construisons ainsi le réseau (l).

Aux 3 réseaux cotés (ζ), (L), (l), il suffit d'ajouter, pour la commodité des lectures, 1 réseau de parallèles à $O'y'$, tracées en pointillé sur la figure 34. D'après ce qui a été dit au n° **159**, on amènera l'index I' du transparent mobile, qui est perpendiculaire à ce réseau, à passer par l'intersection P' de la radiante ζ avec la droite pointillée issue du point (l, L).

On construira de même l'échelle ternaire α'', avec des axes de coordonnées rectangulaires $O''x''$, $O''y''$, en prenant l'échelle binaire :

$$x'' = n(\theta, \mathrm{H}),$$

et le réseau de droites :

$$y'' = x'' \cos\zeta + \mathrm{B} \sin 2\zeta + \mathrm{C} \cos 2\zeta + \mathrm{A}$$

qui n'est plus un réseau de radiantes, ce qui du reste ne complique en rien le mécanisme à suivre : on amènera l'index I″, qui est perpendiculaire au réseau de parallèles auxiliaires, à

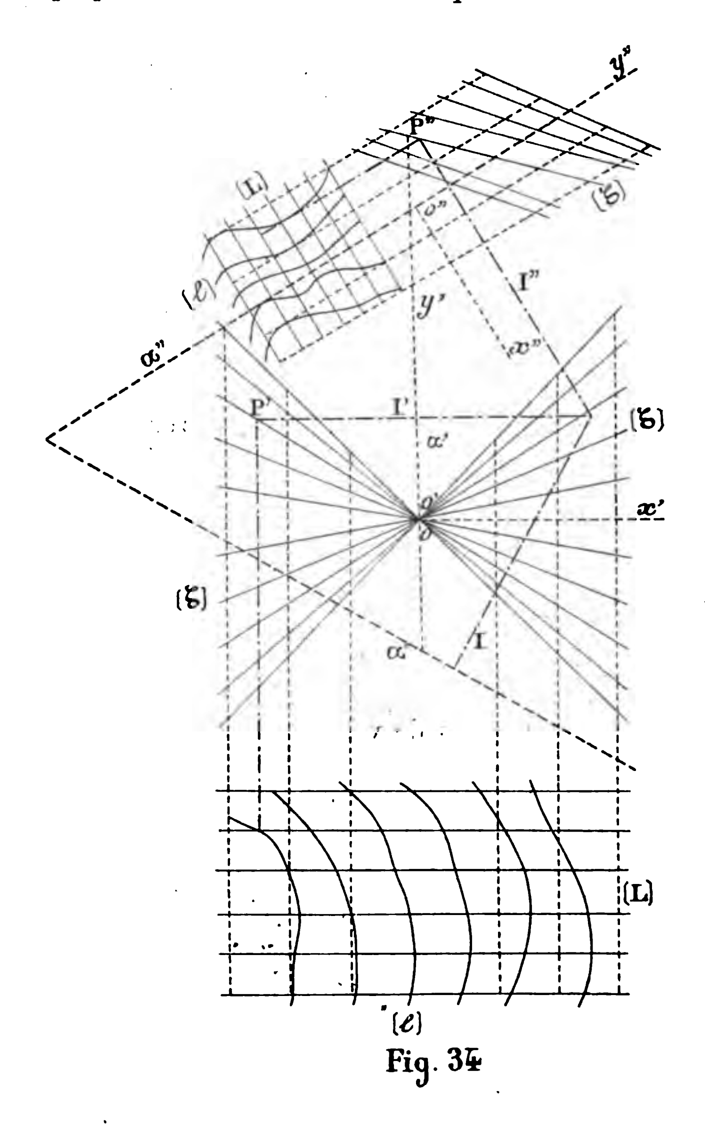
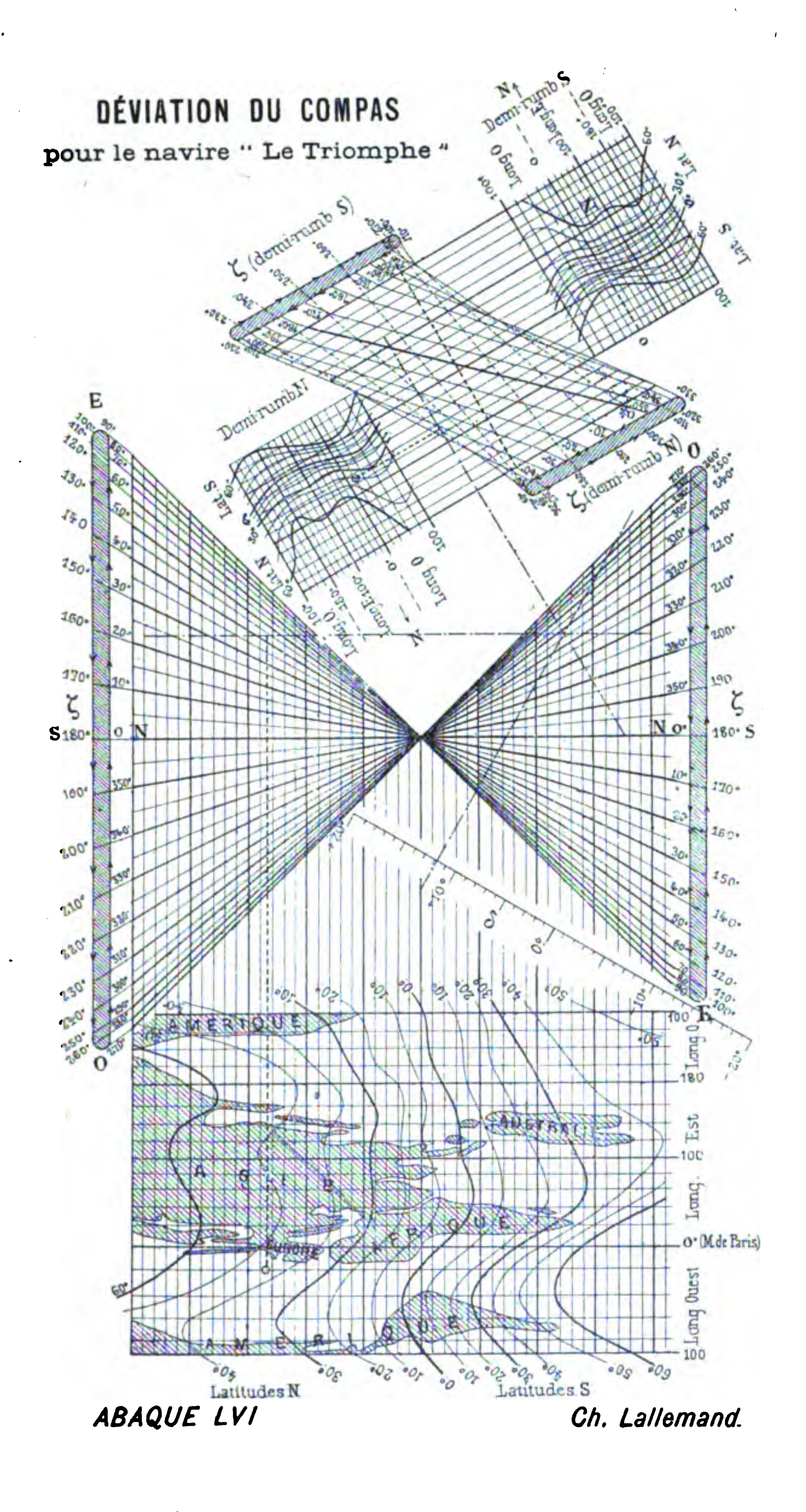


Fig. 34

passer par le point d'intersection P″ de la droite ζ avec la droite pointillée issue du point (*l*, L).

L'index I donne alors sur l'échelle simple α la valeur cherchée.

L'abaque de la figure 34 est donc composé de : 1 échelle simple [δ], de 6 réseaux (*l*), (L), (ζ), à raison de 2 pour chaque



ABAQUE LVI

Ch. Lallemand.

variable, et de 2 réseaux non cotés, soit 7 systèmes figuratifs cotés pour 4 variables.

C'est ainsi qu'a été construit par M. Lallemand, pour le navire *Le Triomphe*, le très bel abaque dont LVI est une réduction. Chaque couple de réseaux (l), (L) donne un planisphère déformé : dans l'échelle ternaire α' cette déformation n'est pas assez profonde pour qu'il ne soit possible d'y dessiner utilement le contour des continents, ce qui aide à marquer plus facilement les coordonnées géographiques du point où se trouve le navire. Ce tracé serait trop confus sur le planisphère déformé de l'échelle α''. D'autre part, afin de moins compliquer le réseau de droites (ζ) de cette échelle ternaire, M. Lallemand n'a fait varier le cap que d'une demi-circonférence, ce qui conduit à tracer deux échelles binaires (lL), l'une correspondant à la graduation du demi-rumb N, l'autre à la graduation du demi-rumb S. L'abaque LVI a donc en réalité 9 systèmes figuratifs cotés.

Les positions des index correspondent à l'exemple :

$$l = 42^\circ \text{N} \qquad \text{L} = 20^\circ \text{O} \qquad \zeta = 41^\circ{,}5$$

L'abaque donne : $\delta = 11^\circ{,}8$.

III. — Échelles multiples à support rectiligne à courbes cotées.

174. — Nous avons eu la première idée de ces échelles en cherchant à remplacer par des abaques à courbes cotées les abaques à réseaux de l'équation $F_{12} = F_{34}$, dans le cas où la méthode des échelles binaires de M. Prévot peut conduire à 4 réseaux (α_1), (α_2), (α_3), (α_4) formés de droites. Nous avons ainsi retrouvé les abaques à double alignement concourant de M. d'Ocagne : les abaques XXXV, XLV, XLVIII, LII donnent des exemples de cette disposition. Nous en avons déduit la théorie générale du double alignement.

Les échelles à support rectiligne à courbes cotées peuvent du reste être employées pour certaines formes d'équations à plus de 4 variables, et nous sommes arrivé de la sorte, comme nous l'avons dit, à représenter de semblables équations par des abaques ne contenant aucun réseau, résultat qui n'avait encore été obtenu que pour la forme canonique :

$$f_1 + f_2 + \dots + f_n = 0.$$

175. — Exemples : *1° Éléments des carènes droites (Abaque LVII).* — Pour la confection d'un avant-projet de navire, il faut pouvoir se rendre compte rapidement de la stabilité d'après les dimensions principales, sans recourir au tracé des lignes d'eau. A cet effet, M. J.-A. Normand a donné, pour les carènes droites, un certain nombre de formules, qui résultent d'une longue pratique, et représentent les éléments cherchés avec une exactitude suffisante (1).

Parmi ces formules, nous prendrons celle qui est écrite à la légende de l'abaque, avec la signification des variables. On pourrait la considérer comme fonction des 5 variables S, Λ, p, l, V, et construire un abaque avec systèmes figuratifs pour ces 5 éléments. Mais il est d'usage de prendre la quantité $\rho = \frac{V}{\Lambda l p}$, dont les variations sont assez faibles, même avec des bâtiments de type et de vitesse différents, car on a en moyenne :

Paquebots de 15 à 20 nœuds. . . .	$\rho = 0{,}55$
Paquebots de 12 à 14 nœuds. . . .	0,60
Voiliers modernes à 3 ou 4 mâts. .	0,68
Cargo-boats de 9 à 11 nœuds . . .	0,70

La formule Normand contient alors les 5 variables S, Λ, p, l, ρ par une seule fonction, et nous allons la représenter par un abaque à 5 droites cotées.

Prenons d'abord l'abaque en Z à 4 échelles :

$$u_1 = l_1 S, \qquad [S]$$
$$u_2 = l_2 \Lambda, \qquad [\Lambda]$$
$$u_3 = l_3 (0{,}09 + \rho) l \qquad [\rho, l]$$
$$u_4 = 1{,}5\, l_3 p. \qquad [p]$$

L'échelle binaire u_3 donne lieu à l'abaque en Z à 3 échelles :

$$u_3 = l_3 \alpha,$$
$$u_5 = l_5 l,$$
$$u_6 = d \frac{l_3 (0{,}09 + \rho) - l_5}{l_3 (0{,}09 + \rho) + l_5}.$$

Les deux abaques s'accolent par l'échelle u_3, qui devient une droite auxiliaire.

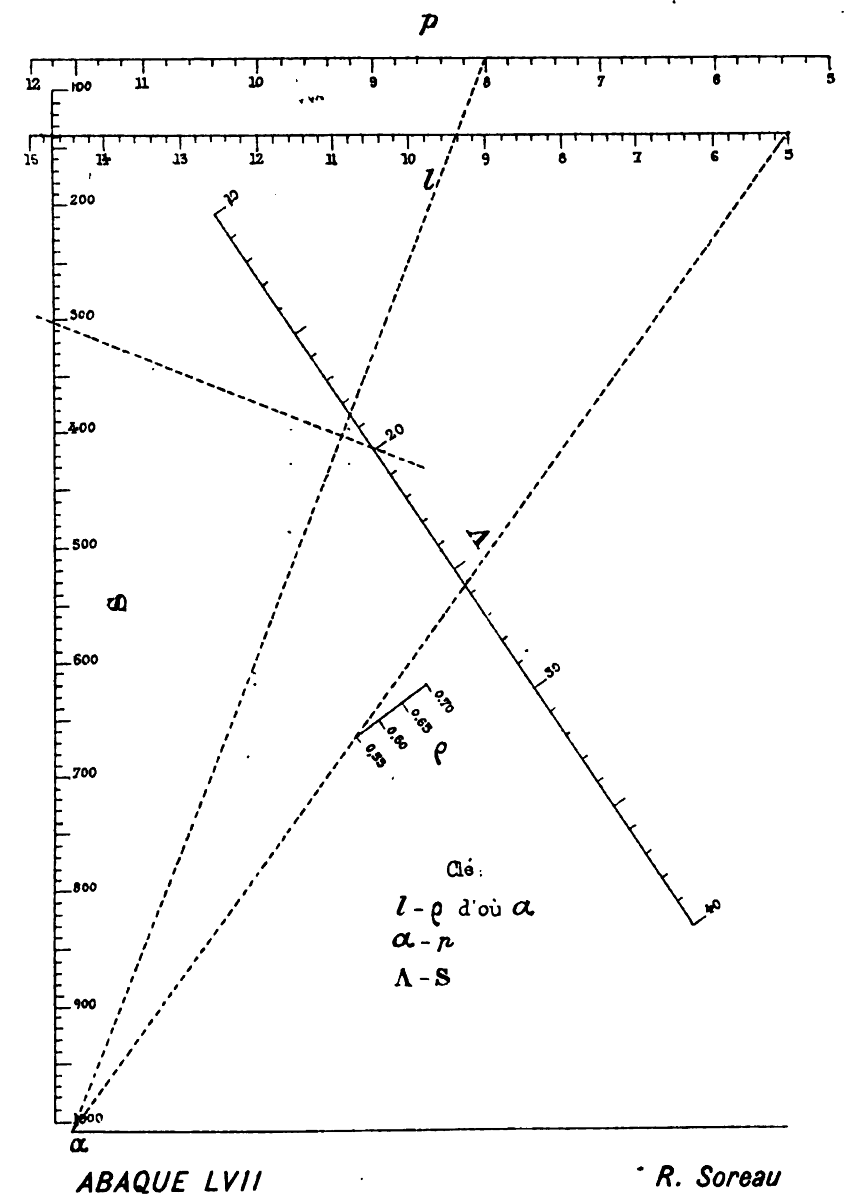
(1) J. Pollard et A. Dudebout, *Théorie du Navire.*

ÉLÉMENT DES CARÈNES DROITES

Formule J.-A. Normand :

$$S = \Lambda \left[1{,}5\, p + \left(0{,}09 + \frac{V}{\Lambda l p} \right) l \right]$$

S Surface, en m²
Λ Longueur, en m,
p Profondeur sur la ppd milieu en m.
l Largeur à la flottaison du milieu, en m.
$\frac{V}{\Lambda l p} = \rho$, V volume en m³



ABAQUE LVII

R. Soreau

Tel est l'abaque LVII, que nous avons construit avec $l_1 = 0{,}1$, $l_2 = 2{,}5$, $l_3 = 10$, $l_4 = 10$, $d = 110\,mm$. Nous avons fait tourner la figure (S, Λ) de 90° pour transformer le premier abaque en un abaque à alignement en équerre. La clé est donc la suivante :

L'inconnue étant S, par exemple, on prend avec un index l'alignement l, ρ, d'où α sur la droite auxiliaire; on fait pivoter l'index autour de ce point, de façon qu'il passe par p, et que le second index passe par Λ : ce second index donne alors la valeur cherchée de S.

Les droites en pointillé correspondent à l'exemple $\Lambda = 20\,m$, $p = 8\,m$, $l = 5\,m$, $\rho = 0{,}55$: l'abaque donne facilement $S = 305\,m^2$; la résolution de la formule donnerait $S = 304\,m^2$.

Si l'une des variables Λ ou S n'est pas inscrite sur l'abaque, on peut appliquer le principe des multiplicateurs correspondants, en prenant $\lambda\Lambda$ et λS.

176. — 2° *Nouvelle jauge des yachts (Abaque LVIII).* — Dans sa séance du 5 mai 1899, le Congrès des Sociétés nautiques a décidé de substituer à la formule de jauge de l'Union des Yachts français :

$$T = \frac{\left(Lp - \frac{p^2}{4}\right)\sqrt{S}}{130},$$

la formule suivante :

$$T = \frac{\left(Lp - \frac{p^2}{4}\right)S}{1\,000\sqrt{M}},$$

applicable à partir du 1er janvier 1901. La signification des variables est donnée sur l'abaque LVIII.

Les deux formules ne diffèrent que par la substitution de $\frac{S}{1\,000\sqrt{M}}$ à $\frac{\sqrt{S}}{130}$. On peut donc représenter la dernière par l'abaque XLIII où l'on remplace l'échelle simple :

$$x = 5\sqrt{S}$$

par l'échelle binaire

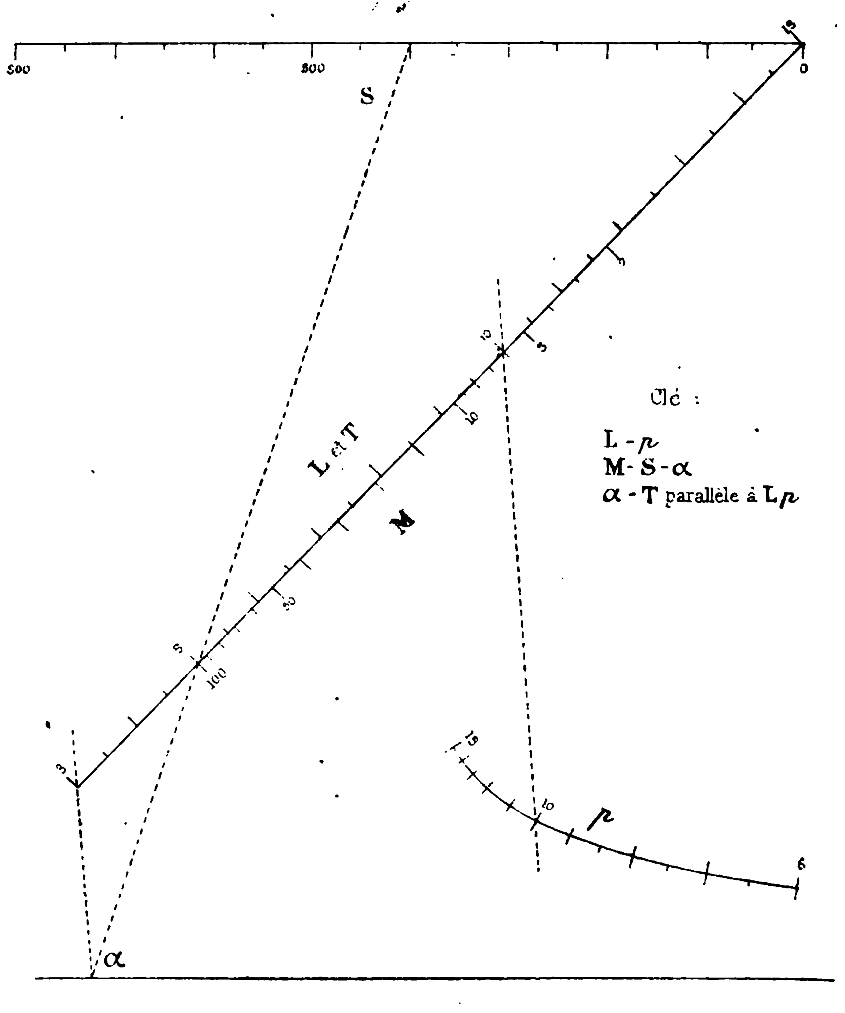
$$x = 0{,}65\frac{S}{\sqrt{M}}.$$

JAUGE DES YACHTS

Formule du Congrès des Stés nautiques :

$$T = \frac{\left(Lp - \frac{p^2}{4}\right) S}{1000 \sqrt{M}}$$

T Tonnage de course, en tonneaux.
L Longueur à la flottaison, en mètres
p Périmètre (diminué de 2 fois la hauteur du bordé au-desus de la flottaison), en m.
S Surface de voilure, en m. carrés.
M Maîtresse section immergée, en m. carrés



ABAQUE LVIII *R. Soreau*

Cette échelle binaire donne les 2 réseaux :

$$\left\{\begin{array}{l} y = 0{,}65\ lS \\ x = \dfrac{y}{l\sqrt{M}}. \end{array}\right.$$

Appliquons notre méthode du n° **95** pour remplacer ces 2 réseaux rectilignes par 2 courbes cotées. On a :

$$\begin{vmatrix} l\sqrt{M} & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -0{,}65\ lS \\ 1 & 0 & -x \end{vmatrix} = 0,$$

puis

$$\begin{array}{ccc} [t] & [y] & [x] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} 1 + l\sqrt{M} & \lambda & 0 \\ -1 & -\lambda & -0{,}65\ lS \\ 1 & 0 & x \end{vmatrix} = 0,$$

d'où les deux courbes :

$$\left\{\begin{array}{l} x = 0, \\ y = \dfrac{\lambda}{1 + l\sqrt{M}}, \end{array}\right.$$

$$\left\{\begin{array}{l} x = -0{,}65\ lS, \\ y = \lambda. \end{array}\right.$$

Nous avons été conduit à prendre $\lambda = 150\ mm$, $l = 0,\ 2\ mm$, et nous avons construit l'abaque LVIII en donnant à Oy une direction autre que dans l'abaque XLIII. On a ainsi 1 droite non cotée x, et 5 courbes cotées, à savoir : 4 droites pour les variables T, L, S, M qui n'entrent chacune que par une seule fonction dans la formule, et 1 courbe pour la variable p, qui y entre par les deux fonctions p et p^2.

Le mode d'emploi est indiqué sur l'exemple $L = 10m$, $p = 10m$, $S = 400\ m^2$, $M = 100\ m^2$; on trace la droite Lp, puis la droite MS, qui donne sur la droite auxiliaire le point x ; par ce point on mène la parallèle à Lp, d'où T. Pour l'exemple considéré, on trouve $T = 3\ tx$.

Si les données ne figurent pas sur l'abaque, on les fera rentrer dans le champ représenté à l'aide de multiplicateurs correspondants convenablement choisis. Ainsi par exemple, quand (L, p, S, M, T) est solution, (μL, μp, ν^2S, ν^2M, $\mu^2\nu$T) l'est aussi.

177. — *3° Résistance des colonnes cylindriques (Abaque LIX).* — Nous avons donné (**70**) les formules de Love pour les colonnes en fonte et pour les colonnes en fer. Ces formules peuvent s'écrire :

$$P = \frac{\lambda d^2}{\mu + \left(\frac{h}{d}\right)^2},$$

λ et μ ayant des valeurs différentes suivant le métal qui compose la colonne. Si donc on veut construire un seul abaque de la résistance pour les différents métaux, fer, fonte, etc., il suffira de considérer la relation précédente comme une fonction de 5 variables, P, d, $\frac{h}{d}$, λ et μ. Ces variables n'entrent dans la relation que par une seule fonction, et l'abaque aura 5 droites cotées.

Posant $\frac{P}{d^2} = \alpha$, nous avons d'abord représenté :

$$\frac{\alpha}{\lambda} = \frac{1}{\mu + \left(\frac{h}{d}\right)^2}$$

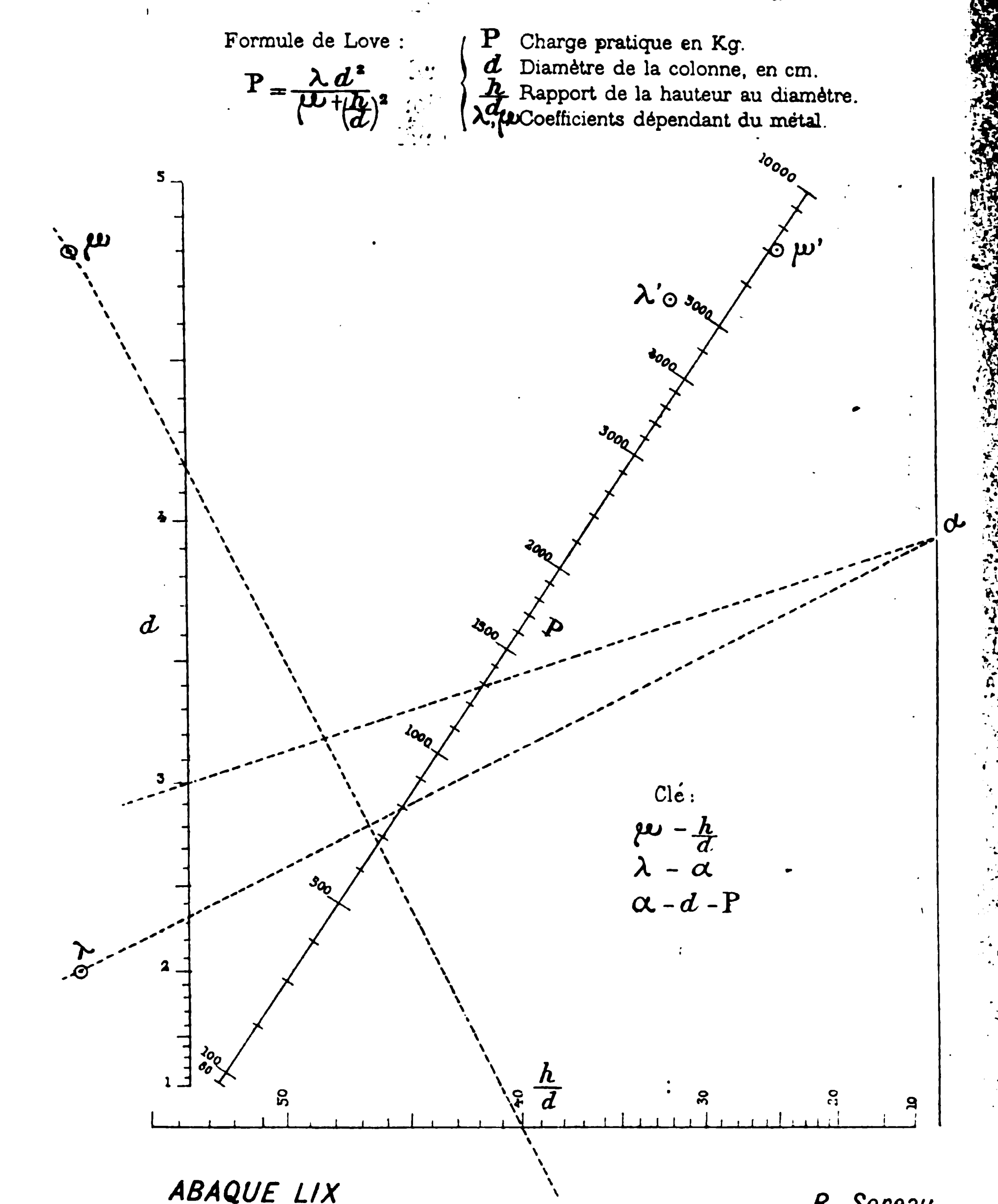
par un abaque à alignement en équerre ; puis nous lui avons accolé l'abaque en Z à 3 variables :

$$\alpha = \frac{P}{d^2}.$$

Nous avons ainsi obtenu l'abaque LIX, qui convient aux colonnes en fer et aux colonnes en fonte, ce qui permet de comparer les résultats obtenus avec l'un et l'autre métal. Pour ne pas charger la figure, nous nous sommes contenté de marquer les points figuratifs λ, λ', μ, μ'. Si l'on construisait un abaque pour plusieurs métaux, tous les points λ seraient en ligne droite, ainsi que tous les points μ.

La clé est la suivante : avec un transparent à deux index rectangulaires, on détermine le point auxiliaire α par le double alignement en équerre $\mu - \frac{h}{d}$, $\lambda - \alpha$; puis, faisant pivoter l'index autour de α, on prend l'alignement $\alpha - d$, qui donne P.

RÉSISTANCE DES COLONNES CYLINDRIQUES



ABAQUE LIX

R. Soreau

IV. — Point à deux cotes à réseaux isolés.

178. — Cette méthode, imaginée par M. d'Ocagne, s'applique, comme on sait, au cas où l'élimination des variables α_1 et α_2 peut se faire entre les coordonnées du point

$$x = \frac{f_{12}}{\psi_{12}},$$

$$y = \frac{\varphi_{12}}{\psi_{12}}.$$

Mais, s'il existe une relation homogène entre f_{12}, φ_{12}, ψ_{12}, le point est représentable par une échelle binaire à support rectiligne ou curviligne, suivant que la relation est ou n'est pas linéaire.

179. — M. d'Ocagne a employé cette méthode pour des exemples devenus classiques en Nomographie, à savoir : la résolution des équations complètes du 3e et du 4e degré, et la résolution des formules de trigonométrie sphérique.

L'équation du 3e degré :

$$z^3 + mz^2 + pz + q = 0,$$

peut s'écrire :

$$pz + q + (z^3 + mz^2) = 0. \qquad (1)$$

L'équation du 4e degré

$$z^4 + mz^3 + nz^2 + pz + q = 0$$

se ramène à la même forme par le changement de variables $z = mz'$, car on a :

$$z'^4 + z'^3 + n'z'^2 + p'z' + q' = 0,$$

qu'on peut écrire :

$$p'z' + q' + (z'^4 + z'^3 + n'z'^2) = 0. \qquad (2)$$

Enfin les six cas de résolution des triangles sphériques peuvent, au besoin par la considération du triangle supplémentaire, se ramener à la formule unique :

$$\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2 \sin \alpha_3 \sin \beta_3 - \cos \alpha_3 \cos \beta_3 = 0. \qquad (3)$$

Les trois formules (1), (2), (3), sont des cas particuliers de la forme générale

$$f_1 f_{34} + f_2 \varphi_{34} + \psi_{34} = 0$$

qui peut être représentée, d'après ce que nous avons vu au n° **164**, par deux échelles parallèles et par un point à 2 cotes :

$$u_1 = l_1 f_1 \qquad [\alpha_1]$$

$$u_2 = - l_2 f_2 \qquad [\alpha_2]$$

$$\begin{cases} x = d \dfrac{l_1 \varphi_{34} - l_2 f_{34}}{l_1 \varphi_{34} + l_2 f_{34}} \\ y = - \dfrac{l_1 l_2 \psi_{34}}{l_1 \varphi_{34} + l_2 f_{34}} \end{cases} \qquad (\alpha_3)\ (\alpha_4).$$

On a ainsi des abaques à simple alignement du genre de la figure 5, où les deux courbes cotées sont des droites. On trouvera ces divers abaques dans le *Traité* de M. d'Ocagne.

Par la généralisation de la forme que nous avons trouvée au n° **81**, on obtient des abaques du même genre pour représenter les équations :

$$F_{12} f_{34} + \Phi_{12} \varphi_{34} + \psi_{34} = 0$$

où F_{12} et Φ_{12} sont des fonctions linéaires de fonctions χ_1 et χ_2 en α_1 et α_2.

Plus généralement, comme nous l'avons dit, il suffit qu'on sache opérer la disjonction de la proposée, par simple ou par double alignement, en considérant momentanément certaines fonctions de 2 variables comme fonctions d'une seule ; s'il n'existe aucune relation entre ces fonctions, les points à 2 cotes ainsi mis en évidence sont représentables par des réseaux isolés. C'est ce que nous allons montrer sur des exemples.

180. — Exemples : *1° Mouvement de l'eau dans les canaux et rivières (Abaque LX).* — Pour résoudre les problèmes relatifs au mouvement de l'eau dans les canaux et rivières, on s'est longtemps servi de la formule établie par Ganguillet et Kutter, à la suite des expériences de Darcy et de Bazin d'une part, et, d'autre part, de Humphreys et d'Abbot sur le Mississipi. En France, on lui préfère aujourd'hui les formules de Bazin, notamment celle dont nous avons donné des abaques en XLIV et XLV.

MOUVEMENT DE L'EAU

dans les canaux et rivières

Formule de Ganguillet et Kutter :

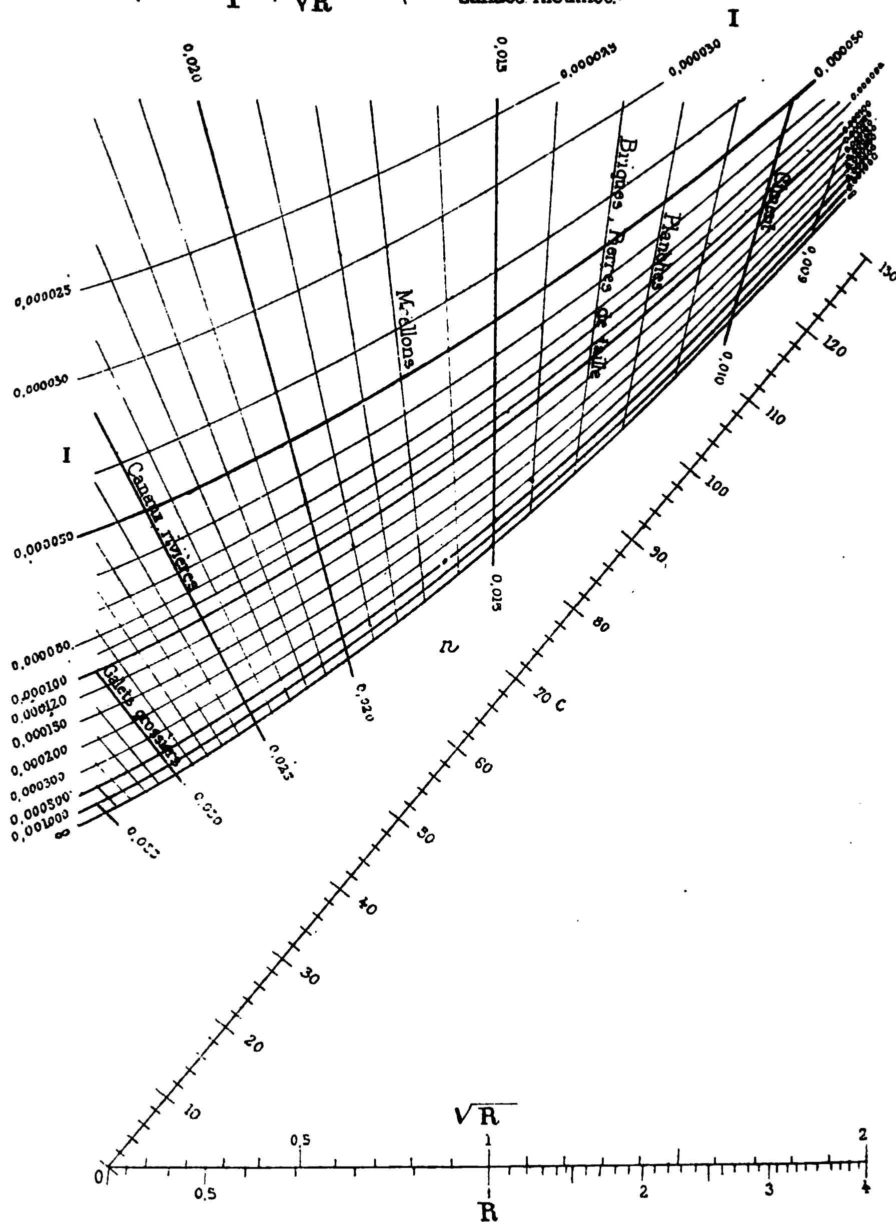
$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{I}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}$$

c Coefficient auxiliaire tel que $v = c\sqrt{RI}$

R Rayon moyen, en mètres.

I Pente par mètre.

n Coefficient dépendant de la nature de la surface mouillée.



ABAQUE LX *d'après l'abaque Ganguillet et Kutter*

Néanmoins, la formule de Ganguillet et Kutter, écrite à la légende de l'abaque, est encore suivie à l'étranger. Il est remarquable que, dès 1869, les auteurs en aient établi, par des considérations analytiques, un abaque qui n'est autre qu'un abaque à alignement simple avec point à 2 cotes (1). On trouve immédiatement cet abaque en écrivant :

$$\begin{array}{ccc} [y]. & [t] & [x] \end{array}$$

$$\begin{vmatrix} c & 1 & 0 \\ 23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{\mathrm{I}} & 1 & -n\left(23 + \frac{0{,}00155}{\mathrm{I}}\right) \\ 0 & 1 & \sqrt{\mathrm{R}} \end{vmatrix} = 0.$$

On a les échelles :

$$x = \sqrt{\mathrm{R}} \text{ suivant l'axe des } x \qquad [\mathrm{R}]$$

$$y = c \quad \text{— — } y \qquad [c]$$

et le point double :

$$\begin{cases} x = -n\left(23 + \dfrac{0{,}00155}{\mathrm{I}}\right) \\ y = 23 + \dfrac{1}{n} + \dfrac{0{,}00155}{\mathrm{I}} \end{cases} \text{ d'où } \begin{array}{lr} ny = 1 - x & (n) \\ xy = (x-1)\left(23 + \dfrac{0{,}00155}{\mathrm{I}}\right) & (\mathrm{I}) \end{array}$$

Les droites (n) sont des radiantes issues du point R = 1. Les courbes (I) sont des hyperboles équilatères dont une branche passe également par ce point; mais il faut considérer l'autre branche, puisque x est négatif.

On trouvera l'abaque de MM. Ganguillet et Kutter dans la traduction française de l'Aidé-mémoire de la Hütte. Il a été construit avec des coordonnées rectangulaires, ce qui donne une assez mauvaise utilisation de la feuille de dessin. Nous l'avons déformé en LVIII par l'emploi de coordonnées obliques, ce qui permet de faire tenir l'abaque dans un rectangle de dimensions plus réduites et allonge l'échelle [c]. D'autre part, nous avons donné à l'échelle [R] deux graduations, $\sqrt{\mathrm{R}}$ et R.

(1) *Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines.*

181. — *2° Distance sphérique de deux points (Abaque LXI).* — On voit de suite que l'équation :

$$2 \cos \varphi = (1 + \cos L) \cos (\lambda - \lambda') - (1 - \cos L) \cos (\lambda + \lambda')$$

peut s'écrire :

$$\begin{array}{ccc} [y] & [x] & [t] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} \cos (\lambda - \lambda') & 1 & 1 \\ \cos (\lambda + \lambda') & 1 & -1 \\ \cos \varphi & \cos L & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Le système figuratif de (φL) ne peut être obtenu par une échelle binaire. Ce sera le point à 2 cotes :

$$\begin{cases} x = \cos L & (\varphi) \\ y = \cos \varphi & (L) \end{cases}$$

dont les équations sont précisément celles des 2 réseaux.

A ces 2 réseaux il faudra adjoindre les 2 échelles rectilignes :

$$y = \cos (\lambda - \lambda') \quad \text{sur la droite} \quad x = 1 \qquad [\lambda - \lambda']$$
$$y = -\cos (\lambda + \lambda') \quad \text{id.} \quad x = -1, \qquad [\lambda + \lambda']$$

dont la graduation est symétrique par rapport à l'origine O des axes de coordonnées.

Les réseaux (φ) et (L) dessinent un quadrillage également symétrique par rapport au point O. On obtient ainsi la remarquable disposition de l'abaque LXI, construit par M. d'Ocagne. Suivant notre convention, nous y avons distingué les courbes cotées et les réseaux cotés en affectant du signe ( ) les variables représentées par des réseaux, et du signe [ ] les variables représentées par des courbes cotées. Cela facilite l'application de la clef qui est la suivante :

Considérons encore la distance sphérique entre Paris et Hanoï, pour lesquels on a $L = 116°$, $\lambda + \lambda' = 72°30'$, $\lambda - \lambda' = 25°10'$. On prend l'alignement des points $\lambda + \lambda'$, $\lambda - \lambda'$: cet alignement coupe la droite $L = 116°$ du réseau (L) en un point P par lequel passe la droite $\varphi = 87°50'$ du réseau (φ).

182. — *3° Facteur de puissance d'un courant (Abaque LXII).* — Soit I un courant en grandeur et en phase ; au voltage E_1 la lecture au wattmètre est :

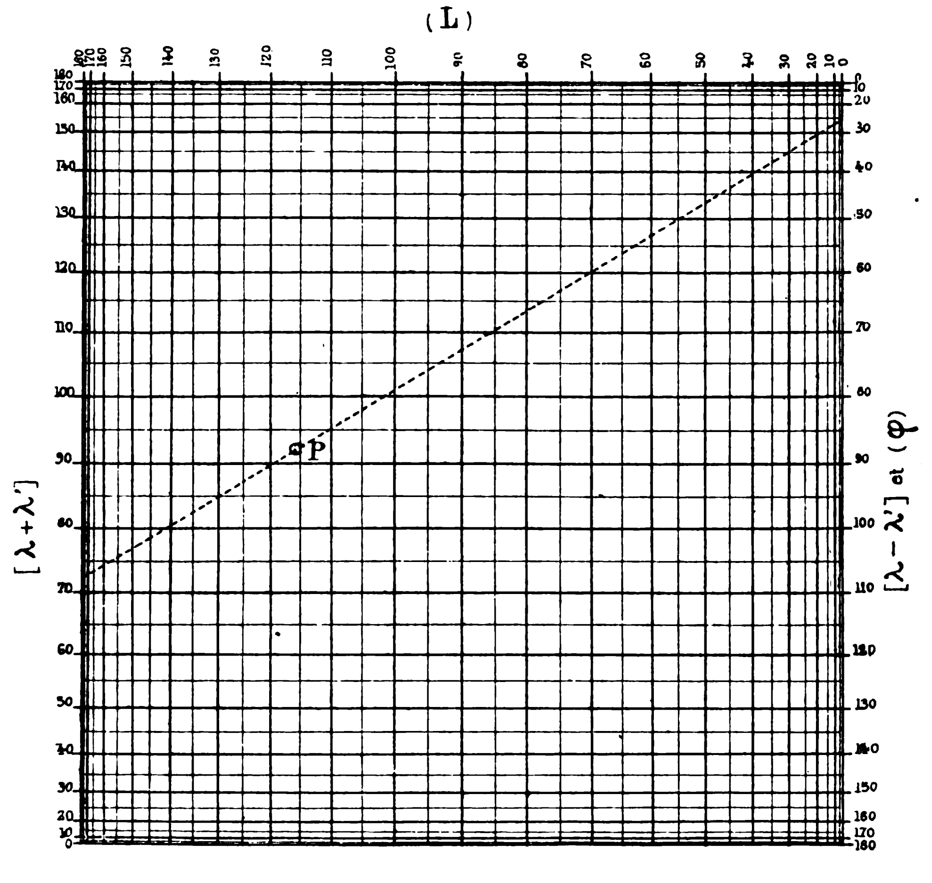
$$W_1 = IE_1 \cos (\alpha_1 + \beta),$$

DISTANCE SPHÉRIQUE DE DEUX POINTS

Formule

$$2\cos\varphi = (1+\cos L)\cos(\lambda-\lambda') - (1-\cos L)\cos(\lambda+\lambda')$$

φ Distance sphérique, en degrés.
λ, λ' Latitude des 2 points »
L Différence de longitude »



ABAQUE LXI *M. d'Ocagne*

β étant le décalage de I par rapport à l'axe quelconque xy, et α_1 la position des phases de E_1 par rapport au même axe.

Au voltage E_2 on a de même :

$$W_2 = IE_2 \cos(\alpha_2 + \beta).$$

Supposons qu'on connaisse, avec les rapports $\frac{E_1}{E_2} = l_1$, $\frac{W_1}{W_2} = l_2$, les positions α_1 et α_2 des phases de E_1 et de E_2 par rapport à xy. On a :

$$l_2 = l_1 \frac{\cos(\alpha_1 + \beta)}{\cos(\alpha_2 + \beta)},$$

d'où l'on tire facilement :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{l_2 \cos \alpha_2 - l_1 \cos \alpha_1}{l_2 \sin \alpha_2 - l_1 \sin \alpha_1},$$

équation qui détermine le facteur de puissance $\cos \beta$.

Tel est le principe d'un instrument pour mesurer ce facteur (1).

Écrivons l'équation précédente :

$$\begin{array}{ccc} [y] & [t] & [x] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} l_2 \cos \alpha_2 & l_2 \sin \alpha_2 & 1 \\ l_1 \cos \alpha_1 & l_1 \sin \alpha_1 & 1 \\ \operatorname{tg} \beta & 1 & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

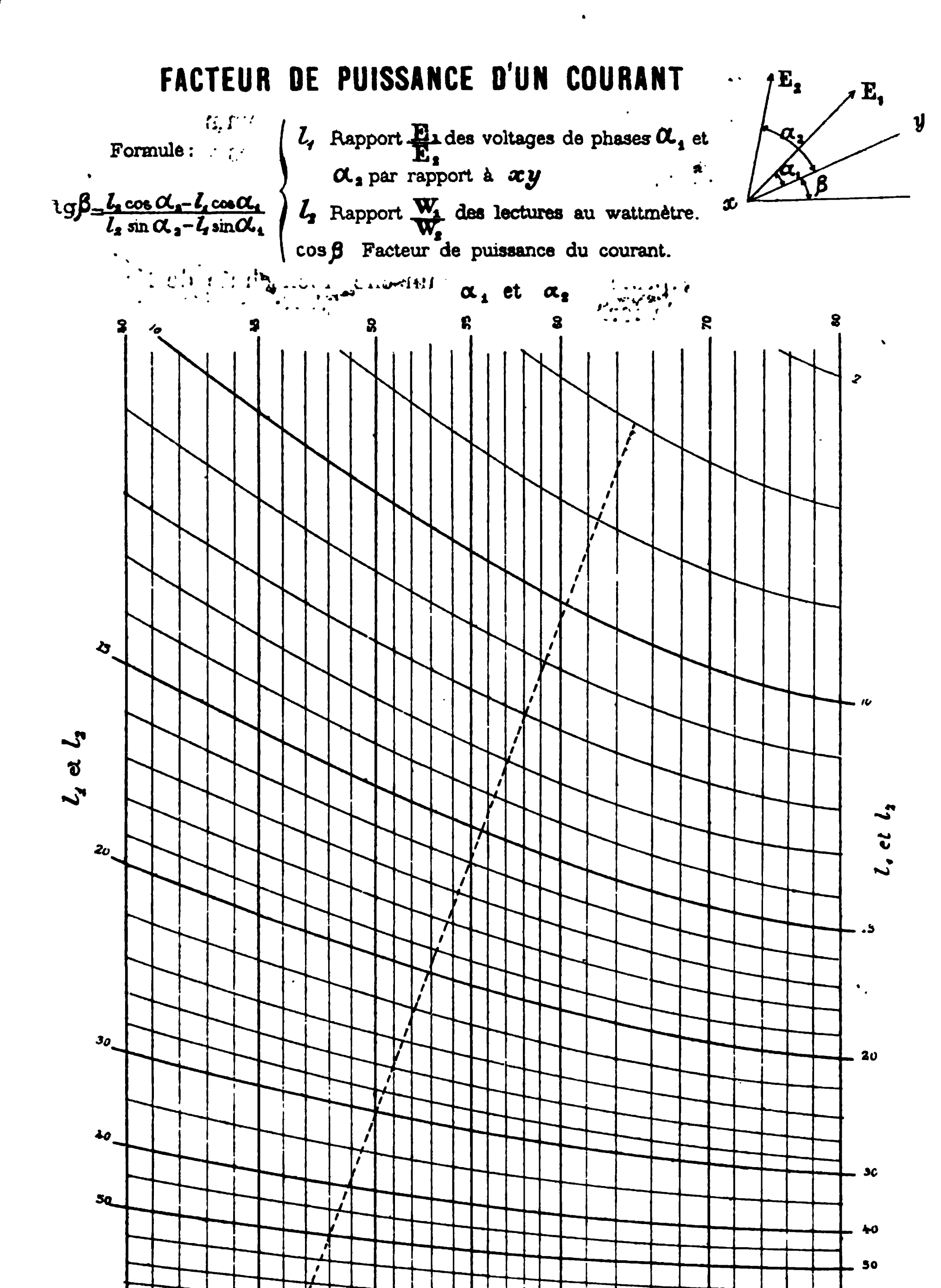
L'échelle $[\beta]$ est une droite confondue avec l'axe des y, et que nous graduerons par rapport à $\cos \beta$. Les réseaux isolés des points à 2 cotes (l_1, α_1) (l_2, α_2) sont confondus. On les obtient en éliminant l et α entre les coordonnées :

$$\left\{ \begin{array}{l} y = \operatorname{cotg} \alpha \\ x = \dfrac{1}{l \sin \alpha} \end{array} \right. \qquad \text{d'où} \qquad \begin{array}{ll} y = \operatorname{cotg} \alpha & (\alpha) \\ \dfrac{x^2}{\left(\dfrac{1}{l}\right)^2} - \dfrac{y^2}{1} = 1 & (l) \end{array}$$

(α) est un réseau de parallèles à l'axe des x, et (l) un réseau d'hyperboles concentriques, dont il faut prendre seulement l'arc ayant des abscisses et des ordonnées positives.

Tel est l'abaque LXII. Comme on peut appliquer à l_1 et l_2 le principe des multiplicateurs correspondants, nous avons coté l de

(1) A.-J. Bowie, *Electrical World and Engineer*, New York, 1900.



α_1 et α_2

cos β

0,62 0,65 0,70 0,75 0,80 0,85 0,90 0,95 0,99

ABAQUE LXII

R. Soreau

7 à 100; en multipliant l_1 et l_2 par un coefficient commun convenablement choisi, il sera facile de faire rentrer ces variables dans les limites des cotes inscrites.

183. — *4° Convoi remorqué par une locomotive donnée (Abaque LXIII).* — M. A. Frank, professeur à la Technische Hochschule de Hanovre, a donné la formule suivante pour le travail $\mathfrak{T}$ nécessaire à une locomotive qui remorque un convoi de poids P_1 sur une voie en alignement droit dont la déclivité est α (1) :

$$\frac{\mathfrak{T}}{v} = \rho\,[\,\lambda + \mu P + \mu_1 P_1 + K\,(S + S_1)\,v^2 + (P + P_1)\sin\alpha\,];$$

v est la vitesse, P le poids de la locomotive et du tender en ordre de marche, K le coefficient de résistance de l'air, S et S_1 les surfaces planes, normales à la voie, équivalentes, au point de vue de la résistance de l'air, d'une part à la locomotive et au tender, d'autre part au convoi ; λ, μ, μ_1 et ρ sont des coefficients.

En désignant par n le nombre des véhicules, par σ la surface équivalente pour chacun d'eux, par $d\sigma$ le supplément de surface équivalente pour le premier véhicule, imparfaitement protégé par le tender, par p le poids brut *moyen* de chaque véhicule, on trouve :

$$n = \frac{\dfrac{1}{\rho}\dfrac{\mathfrak{T}}{v} - \lambda - (\mu + \sin\alpha)\,P - K\,(S + d\sigma)\,v^2}{(\mu_1 + \sin\alpha)\,p + K\sigma v^2}.$$

Quand P et p sont exprimés en kilogrammes, v en mètres par seconde, $\mathfrak{T}$ est exprimé en kilogrammètres, et les coefficients ont les valeurs suivantes, d'après M. Frank :

Pour les trains de voyageurs :

$$\rho = 1{,}033, \qquad \lambda = 31, \qquad \mu = 0{,}0032, \qquad \mu_1 = 0{,}0025;$$

pour les trains de marchandises :

$$\rho = 1{,}04, \qquad \lambda = 57, \qquad \mu = 0{,}0039, \qquad \mu_1 = 0{,}0025.$$

En outre, M. Frank prend :

$$K = 0{,}1225, \qquad S = 7 \text{ à } 8\,m^2, \qquad \sigma = 0{,}5\,m^2, \qquad d\sigma = 1{,}2\,m^2.$$

(1) *Organ*, 1883 et 1885.

CONVOI REMORQUÉ

par une locomotive donnée

Formule de MM. Frank et Vaes :

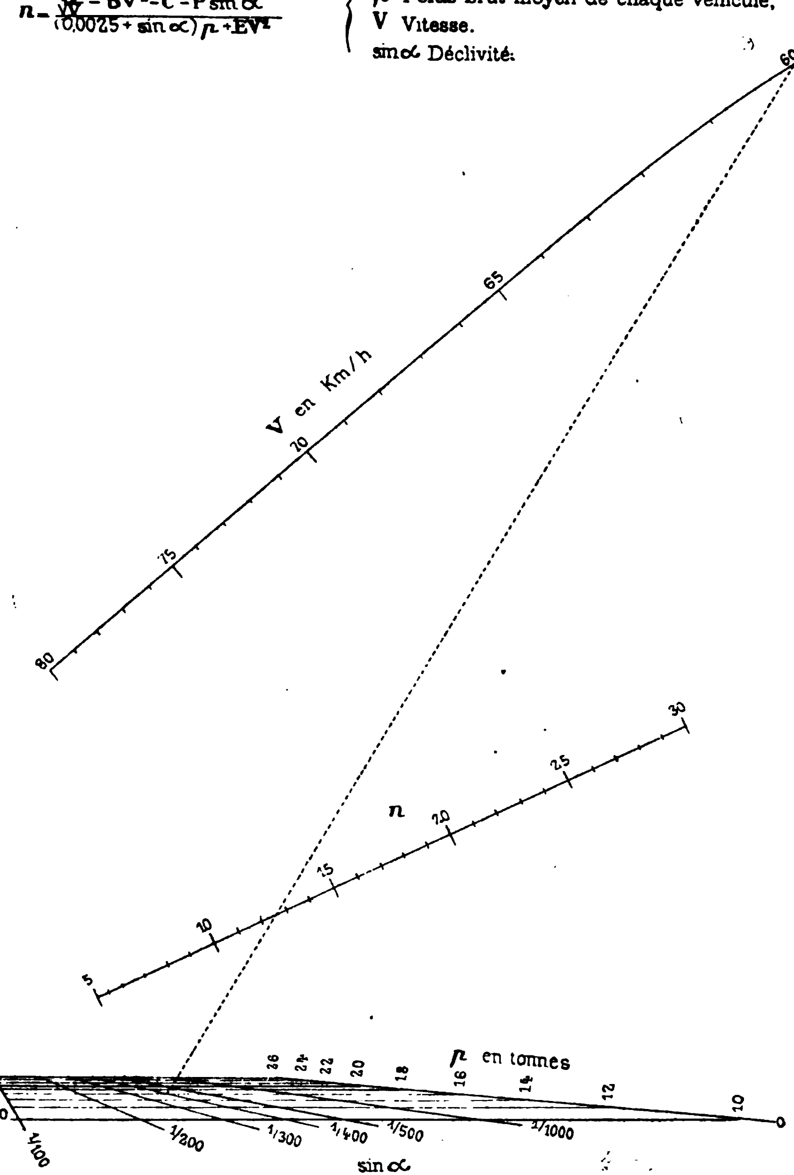
$$n = \frac{\frac{A}{V} - BV^2 - C - P\sin\alpha}{(0{,}0025 + \sin\alpha)\,p + EV^2}$$

n Nombre des véhicules.

p Poids brut moyen de chaque véhicule,

V Vitesse.

$\sin\alpha$ Déclivité.



ABAQUE LXIII *R. Soreau*

M. Vaes (1) a remplacé dans cette formule l'effort de traction $T = \frac{\mathfrak{T}}{v}$ en fonction de la vitesse et des éléments de la machine ; à cet effet, il a adopté pour le coefficient k de la formule classique de Pambour :

$$T = k\frac{pd^2l}{D},$$

la valeur suivante, proposée par un Ingénieur allemand (2) :

$$k = \frac{0,65}{\sqrt{2\frac{100v}{\pi D}}}.$$

En prenant la vitesse en kilomètres-heure, on obtient alors une expression de la forme :

$$n = \frac{\frac{A}{\sqrt{V}} - BV^2 - C - P\sin\alpha}{(0,0025 + \sin\alpha)p + EV^2} \qquad (1)$$

avec

$$A = \begin{cases} 0,1496 \\ 0,1486 \end{cases} \frac{pd^2l}{D}\sqrt{D},$$

où d, l, D, sont exprimés en centimètres, p en kilogrammes par centimètre carré ;

$$B = 0,0095\,(S + d\sigma),$$

$$C = \begin{cases} 31 + 0,0032\,P, \\ 57 + 0,0039\,P, \end{cases}$$

$$E = 0,0095\,\sigma$$

Pour A et C, la première ligne se rapporte aux trains de voyageurs, la seconde aux trains de marchandises. A dépend des qualités mécaniques de la locomotive, à savoir la caractéristique habituelle $\frac{pd^2l}{D}$, et D ; C dépend du poids de la locomotive et du tender en ordre de marche, B et E des surfaces offertes à la résistance de l'air.

(1) *De Ingenieur*, Gravenhage, 1897.
(2) *Zeitung des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltung*, 1891.

Cherchons, pour une locomotive déterminée, un abaque de l'équation (1). On l'écrit immédiatement.

$$\begin{vmatrix} \overset{[x]}{\dfrac{A}{\sqrt{V}} - BV^2 - C} & \overset{[t]}{EV^2} & \overset{[y]}{1} \\ P \sin \alpha & -p\,(0{,}0025 + \sin \alpha) & 1 \\ n & 1 & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

On a une courbe [V], une droite [n] confondue avec l'axe des x, et un point à 2 cotes dont on obtient de suite les réseaux en prenant :

$$\frac{x}{y} = \frac{\lambda P \sin \alpha}{\mu}, \qquad (\alpha)$$

$$y = \frac{-\mu}{p\,(0{,}0025 + \sin \alpha)},$$

d'où, en éliminant sin α,

$$0{,}0025\,\lambda P y + \mu x = \frac{-\lambda \mu P}{p}; \qquad (p)$$

(α) est un faisceau de radiantes issues de l'origine, (p) un faisceau de droites parallèles.

C'est ainsi que nous avons construit l'abaque LXIII, pour une locomotive à voyageurs dont les caractéristiques sont : $\frac{pd^2l}{D}$ = 6660 *kg*, D = 2,25 *m*. P = 60000 *kg*. Nous avons adopté pour S la plus grande valeur donnée par M. Frank, soit S = 8 m^2 (1); pour σ et $d\sigma$ nous avons pris les deux valeurs 0,5 et 1,2 qu'il a indiquées.

Un abaque de cette formule n'a une précision suffisante qu'avec des dimensions beaucoup plus grandes que celles auxquelles nous étions réduit par le format du Bulletin, surtout si l'on fait varier V entre des limites étendues; toutefois, tel qu'il est, l'abaque LXIII, construit en coordonnées obliques avec λ = 3, 4, μ = 2500, est encore lisible. On voit que la locomotive en question peut remorquer 12 voitures d'un poids brut moyen de 16 *t*, à la vitesse de 60 *km*, sur une voie en alignement droit dont la pente est 1/400.

(1) Notre collègue M. F. Barbier donne S = 7,9 m^2 (*Revue générale des Chemins de fer* 1898) pour la locomotive à grande vitesse 2158 du Nord, dont les formes offrent, à notre avis, une résistance à l'air moindre que la plupart des locomotives, sauf celles qui sont munies d'une proue. Rappelons que M. Desdouits estime que l'emploi d'une proue réduirait notablement la surface équivalente.

Remarque sur la mise en évidence des points a deux cotes.

184. — Nous avons vu que les échelles binaires et les réseaux isolés sont exclusifs l'un de l'autre. Toutefois, cette exclusivité n'est que relative ; autrement dit, soit par exemple une équation à 4 variables mise sous la forme d'un déterminant dont une ligne contient les fonctions des variables α_k et $\alpha_{k'}$; cette ligne donnera une échelle binaire à support rectiligne ou curviligne, ou 2 réseaux isolés, à l'exclusion l'un de l'autre. Mais si l'on sait opèrer la disjonction d'une façon différente, par exemple de telle sorte que la ligne à deux fonctions dépende des variables α_k et α_l, le résultat peut être l'inverse, c'est-à-dire que la première disjonction conduira à une échelle binaire et la seconde à un couple de réseaux isolés, ou réciproquement.

Il y a donc lieu de voir les avantages et les inconvénients des deux modes de représentation.

D'une façon générale, *les réseaux isolés sont plus simples que les échelles binaires*, qui comportent, outre les 2 réseaux cotés, 1 réseau de parallèles non coté et 1 droite.

Cependant, si les 2 réseaux cotés d'une échelle binaire à support rectiligne sont formés de droites, on peut, par application de notre théorème du n° **95**, les transformer en 2 courbes; cette simplification est très intéressante pour des abaques d'équations à un grand nombre de variables, abaques qu'il importe d'alléger autant que possible. Une telle transformation est particulièrement avantageuse quand le reste de l'abaque est formé de courbes cotées. *Il convient alors généralement de préférer l'échelle binaire aux réseaux isolés.*

Prenons, par exemple, une équation à 4 variables. On constate facilement si elle peut se mettre sous la forme :

$$\begin{vmatrix} f_1 & \varphi_1 & \psi_1 \\ f_2 & \varphi_2 & \psi_2 \\ f_{34} & \varphi_{34} & \psi_{34} \end{vmatrix} = 0.$$

S'il existe une relation linéaire et homogène entre f_{34} φ_{34} ψ_{34}, le système figuratif des variables α_3 et α_4 est une échelle binaire. Dans le cas où les réseaux peuvent être formés de droites, on transformera ces réseaux en courbes $[\alpha_3]$ $[\alpha_4]$. On aura ainsi immédiatement les 4 courbes d'un abaque à double alignement concourant, d'où l'on déduira des abaques à double alignement

quelconque. Nous en avons donné de nombreux exemples au Chapitre précédent.

Mais quand les réseaux de l'échelle binaire ne seront pas formés de droites, il y aura lieu de rechercher si un autre groupement des variables, par exemple le groupement $(\alpha_1\alpha_3)$, ne donne pas une échelle binaire à réseaux rectilignes, ou, à défaut, 2 réseaux isolés, qui seraient préférables, en général, à une échelle binaire à réseaux curvilignes.

185. — Exemples : *1° Jaugeage des tonneaux. (Abaques XL et LXIV.)* — Ainsi, reprenons l'équation déjà envisagée au n° **132** :

$$V = \frac{\pi H}{9}\left(\frac{5}{4}D^2 + d^2\right),$$

1° On peut l'écrire :

$$\begin{vmatrix} \frac{9V}{\pi} & 0 & 1 \\ -d^2 & 1 & 0 \\ \frac{5}{4}D^2H & H & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Le point à 2 cotes conduit ici à 2 réseaux isolés. De ce déterminant nous déduisons :

$$\begin{vmatrix} \frac{9}{\pi}\lambda V & 0 & 1 \\ -\lambda d^2 & \mu & \nu \\ \frac{5}{4}\lambda D^2H & \mu H & 1+\nu H \end{vmatrix} = 0,$$

d'où l'abaque à points alignés :

$$\left\{\begin{aligned} x &= \frac{9}{\pi}\lambda V \\ y &= 0 \end{aligned}\right. \qquad [V]$$

$$\left\{\begin{aligned} x &= -\frac{\lambda}{\nu}d^2 \\ y &= \frac{\mu}{\nu} \end{aligned}\right. \qquad [d]$$

$$\left\{\begin{aligned} x &= \frac{5\lambda D^2H}{4(1+\nu H)} \\ y &= \frac{\mu H}{1+\nu H}. \end{aligned}\right. \qquad (D, H)$$

Les coordonnées du point à 2 cotes (D, H) donnent immédiatement les 2 réseaux isolés :

$$y = \frac{\mu H}{1 + \nu H} \qquad \text{(H)}$$

$$x = \frac{5\lambda D^2 y}{4\mu}. \qquad \text{(D)}$$

On déterminerait facilement les paramètres de façon que les échelles rectilignes parallèles [V] et [d] aient même longueur utile.

Tels sont les courbes et réseaux qui figurent sur l'abaque LXIV que M. G. Pesci a construit par une méthode toute différente (1). L'alignement correspond à l'exemple déjà envisagé au n° **132**, soit : H = 1,42 m, D = 1,21 m, d = 1,04 m, d'où V = 1 440 l.

2° En formant la ligne à 2 variables, non plus de D et de H, mais de D et de d, on obtient :

$$\begin{vmatrix} \frac{9}{\pi}V & 0 & -1 \\ H & 1 & 0 \\ 0 & \frac{5}{4}D^2 + d^2 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Il est visible que, dans ce cas, on a une échelle binaire.

Écrivons cette équation :

$$\begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array}\begin{matrix} [y] & [x] & [t] \end{matrix}$$

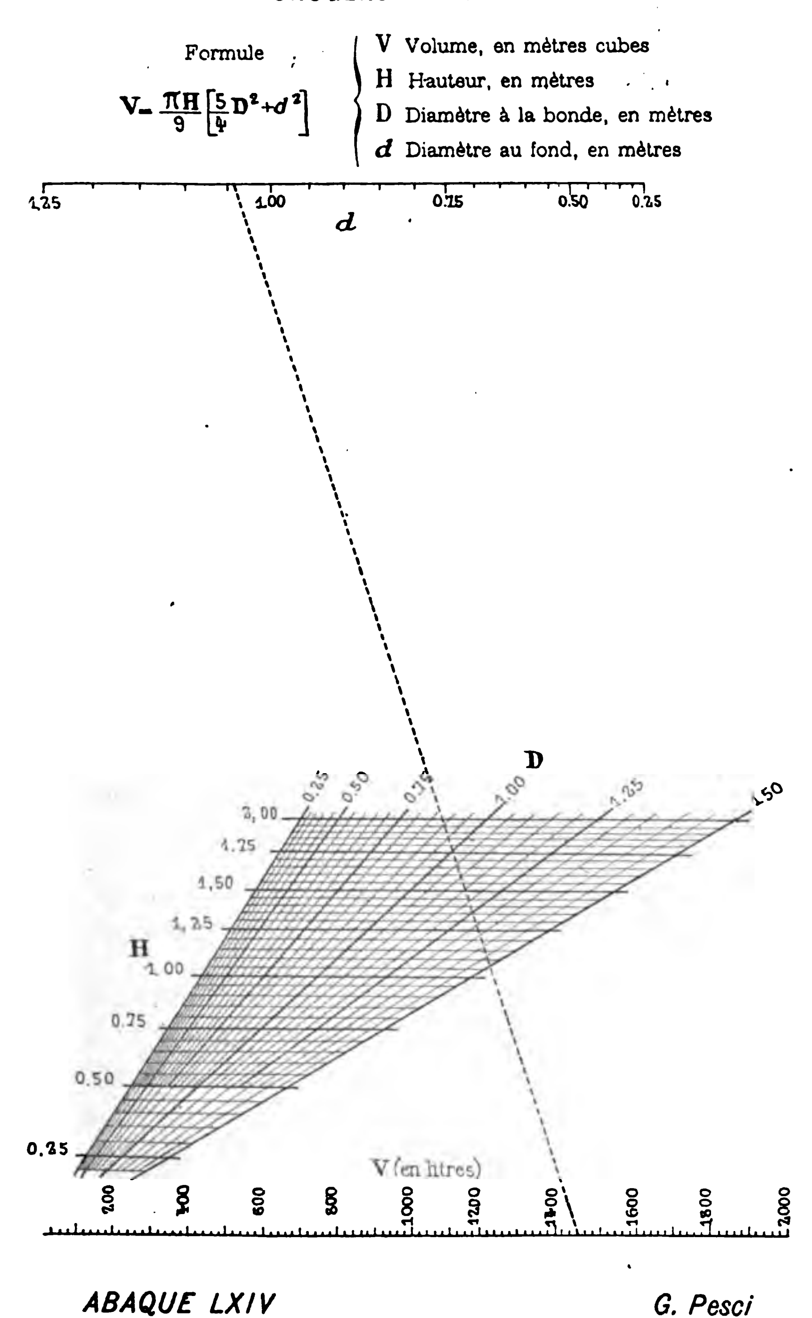
$$\begin{vmatrix} \frac{9}{\pi}V & 0 & -1-\frac{9}{\pi}V \\ H & 1 & -H \\ 0 & \frac{5}{4}D^2 + d^2 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

L'echelle binaire est :

$$x = \frac{5}{4}D^2 + d^2, \qquad \text{d'où :} \quad \begin{cases} y = D^2 \\ x = \frac{5}{4}y + d^2, \end{cases}$$

c'est-à-dire 2 réseaux de droites. Donc la proposée est repré-

(1) *Génie Civil*, mai 1899.



ABAQUE LXIV *G. Pesci*

sentable par un abaque à double alignement, que nous avons donné en XL.

Cet abaque est plus clair et prête moins à des erreurs de lecture que l'abaque LXIV; d'autre part la clef n'est pas plus compliquée.

186. — 2° *Distance sphérique de deux points.* — Dans la disjonction opérée au n° **181**, le point (φ, L) est représentable par 2 réseaux isolés. Mais, comme dans l'exemple précédent, il se peut qu'on soit conduit à une échelle binaire à points alignés en considérant un point à 2 cotes (λ, λ'), les points φ et L étant, au contraire, à 1 cote. Voyons s'il en est ainsi.

La proposée peut s'écrire :

$$2 \cos \varphi = \cos (\lambda - \lambda') - \cos (\lambda + \lambda') + [\cos (\lambda - \lambda') + \cos (\lambda + \lambda')] \cos L,$$

ou :
$$\cos \varphi = \sin \lambda \sin \lambda' + \cos \lambda \cos \lambda' \cos L,$$

sous cette forme, on voit immédiatement qu'on a :

$$\begin{vmatrix} \sin \lambda \sin \lambda' & \cos \lambda \cos \lambda' & 1 \\ \cos L & -1 & 0 \\ \cos \varphi & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Le point à 2 cotes (λ, λ') n'est pas représentable par une seule échelle binaire, et ce mode de disjonction ne peut conduire à un abaque à double alignement; les abaques qu'on trouverait ainsi seraient moins simples que le précédent. Mais nous avons voulu citer cet exemple afin de montrer toute la souplesse qu'on obtient par l'emploi des déterminants.

C'est grâce à cet emploi que nous avons pu mettre en évidence un autre mode de représentation de la proposée, par nos abaques proportionnels *(Abaque XXXIII)*.

V. — Méthode générale.

187. — La combinaison des divers procédés qui viennent d'être exposés peut conduire à la représentation graphique d'équations ayant un grand nombre de variables. La méthode générale consiste à mettre la proposée sous la forme d'un déterminant qui donne un alignement simple ou double. Il s'agit

alors de représenter 3 ou 4 points dont un certain nombre sont des points multiples. On saisit bien ici comment notre théorie du double alignement étend le champ des applications ouvert par M. d'Ocagne avec l'alignement simple.

Si aucune variable n'est commune à plusieurs lignes du déterminant, et que de plus les points à cotes multiples soient ou des points à 2 cotes, ou des points dont les coordonnées homogènes satisfont à une relation homogène, on a de la sorte un abaque avec le minimum de systèmes figuratifs cotés, à savoir 1 par chaque variable.

Dans le cas contraire, certaines variables ont 2, 3... systèmes cotés.

L'habileté du constructeur consiste à conduire la disjonction générale et les disjonctions auxiliaires de façon à obtenir un petit nombre de systèmes figuratifs pour chaque variable, un seul si cela est possible. La complexité des équations oblige parfois à prendre plusieurs systèmes pour une même variable : c'est ainsi que, comme nous l'avons vu, l'abaque LVI de la déviation du compas a 9 systèmes figuratifs pour 4 variables.

Nous allons préciser ces considérations générales sur un exemple assez compliqué, qui n'a pas moins de 7 variables, et que nous avons néanmoins représenté par un abaque relativement simple, comportant 10 systèmes cotés. On se rendra compte par cet exemple de l'intérêt des échelles multiples à courbes cotées, et en particulier des échelles à double alignement.

188. — Exemple : *Convoi remorqué par les locomotives à voyageurs (Abaque LXV).* — Nous avons construit au n° **183** l'abaque de la formule de MM. Frank et Vaes pour une *locomotive donnée*, auquel cas les coefficients A, B, C, P, E sont connus.

Proposons-nous maintenant de construire l'abaque de cette formule pour les locomotives à voyageurs en général, en prenant encore $S = 8\ m^2$, $\sigma = 0{,}5\ m^2$, $d\sigma = 1{,}2\ m^2$.

Désignons par θ la caractéristique $\frac{pd^2l}{D}$ de la locomotive. Le déterminant du n° **183** devient alors :

$$\begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array}\begin{vmatrix} \overset{[x]}{\lambda\left[\frac{0{,}1496\,\theta\sqrt{D}}{\sqrt{V}} - 0{,}0874\,V^2 - 31 + 0{,}0032\,P\right.} & \overset{[t]}{0{,}00475\,V^2} & \overset{[y]}{\mu} \\ \lambda P \sin\alpha & -p(0{,}0025 + \sin\alpha) & \mu \\ \lambda n & 1 & 0 \end{vmatrix} = 0$$

C'est une équation à 7 variables, savoir : θ, D, P, qui déterminent le type de locomotive ; p, n, qui déterminent le convoi ; V, sin α, qui déterminent les conditions de marche. Comme nous l'avons dit, le problème consiste à construire un abaque suffisamment clair et rapide. avec le moins possible de systèmes figuratifs cotés.

Soient P_1 le point à 4 cotes donné par la première ligne du déterminant, P_2 le point à 3 cotes donné par la deuxième ligne. L'alignement $P_1\,P_2\,n$ permet de déterminer l'inconnue, qui peut être n ou une autre variable.

Un rapide essai pour obtenir une bonne disposition nous a conduit à prendre, en millimètres, $\lambda = 1$, $\mu = 2\,000$.

Point P_1. — Ce point est alors à l'intersection des réseaux :

$$y = \frac{2\,000}{0{,}00475\,V^2}, \qquad x = \alpha,$$

α étant donné par la relation :

$$\alpha = \frac{\dfrac{0{,}1496\,\theta\sqrt{D}}{\sqrt{V}} - 0{,}0874\,V^2 - (31 + 0{,}0032\,P)}{0{,}00475\,V^2}.$$

Écrivons-la :

$$\frac{\alpha + 18{,}4}{31 + 0{,}0032\,P} = \frac{\dfrac{0{,}1496\,\theta\sqrt{D}}{31 + 0{,}0032\,P} - V^{\frac{1}{2}}}{0{,}00475\,V^{\frac{5}{2}}},$$

et posons :

$$\frac{0{,}1496\,\theta\sqrt{D}}{31 + 0{,}0032\,P} = \beta.$$

Nous obtenons l'équation à 4 variables :

$$\frac{\alpha + 18{,}4}{31 + 0{,}0032\,P} = \frac{\beta - V^{\frac{1}{2}}}{0{,}00475\,V^{\frac{5}{2}}},$$

dont nous savons opérer la disjonction :

$$\begin{array}{cccc} [x'] & [y'] & [z'] & [t'] \end{array}$$
$$\begin{vmatrix} \lambda'(\alpha + 18{,}4) & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\mu'(31 + 0{,}0032\,P) & 0 & 1 \\ -\lambda'\nu'\beta & 0 & 1 & 1 \\ -\lambda'\nu' V^{\frac{1}{2}} & 0{,}00475\,\mu'\nu' V^{\frac{5}{2}} & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Pour faire coïncider *(fig. 35)* l'échelle non cotée [α] de cet abaque φ et celle de l'abaque Φ, il faut évidemment que l'on prenne $\lambda' = \lambda = 1$, et que l'axe $O'y'$ soit parallèle à l'axe Oy, à une distance telle que la droite $x' = 18,4$ coïncide avec $x = 0$. L'axe $O'x'$ est d'ailleurs arbitraire : nous l'avons pris parallèle à Ox.

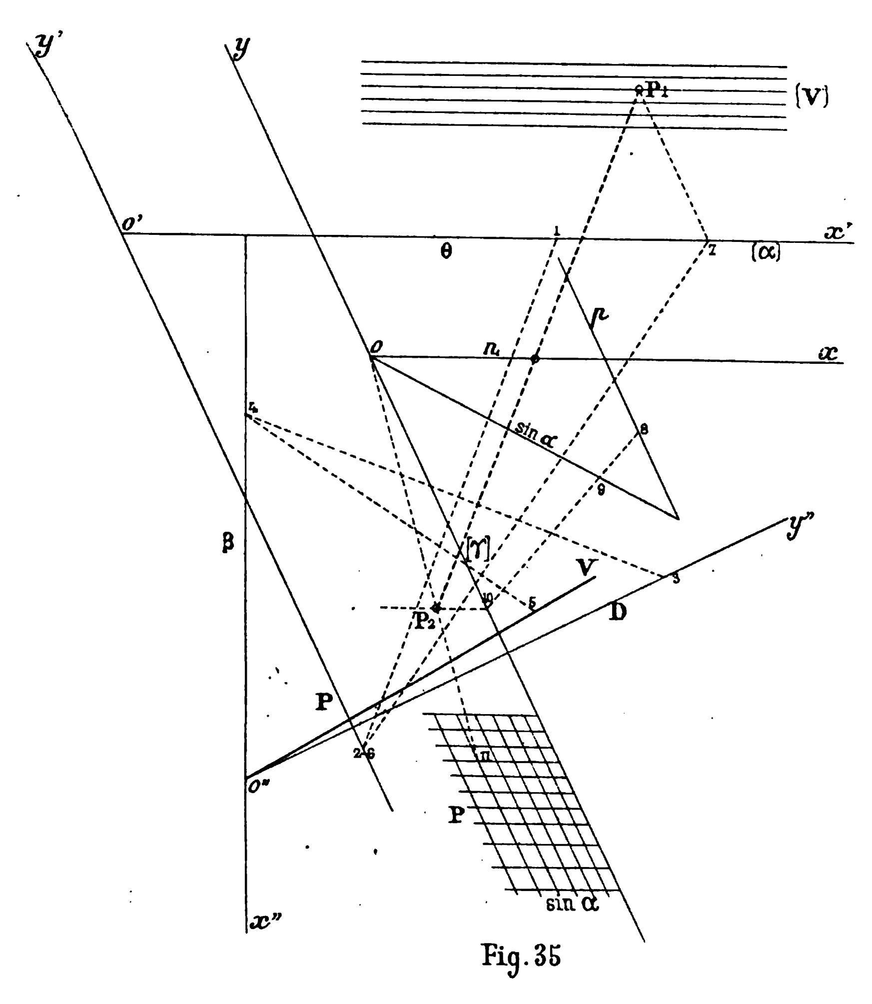


Fig. 35

Nous avons transformé l'abaque à double alignement parallèle φ en un abaque à double alignement en équerre, en faisant tourner la figure (β, V) de 90°, et en la déplaçant de façon qu'elle occupe une partie peu chargée de l'abaque. Les axes de coordonnées de (β, V) sont alors $O''x''$, $O''y''$ perpendiculaires à $O'x'$, $O'y'$, et, par suite, à Ox, Oy : d'où l'abaque à double alignement en

équerre [α] [P], [β] [V]. Chaque point de [α] détermine une droite du réseau auxiliaire (α). Nous avons été conduit à prendre $\mu' = 0{,}5$, $\nu' = 1$; d'ailleurs $\lambda' = 1$.

Il ne reste plus qu'à déterminer le point auxiliaire β, ce qui se fait immédiatement par la proportion :

$$\frac{\beta}{\sqrt{D}} = \frac{0{,}1496\,\theta}{31 + 0{,}0032\,P}.$$

Mais il convient qu'on fasse coïncider d'une part les échelles [β] et d'autre part les échelles [P] de cet abaque et de l'abaque φ. Pour cela, prenons encore un abaque φ' à double alignement en équerre, dans lequel β est porté suivant $O'x'$, D suivant $O'y'$: on peut alors porter θ suivant $O'x'$, P suivant $O'y'$. La coïncidence cherchée a lieu si l'on prend :

$$u_1 = -\beta,$$

$$u_2 = \rho\sqrt{D},$$

$$u_3 = \frac{1}{2\rho}\,0{,}1496\,\theta,$$

$$u_4 = -\frac{1}{2}(31 + 0{,}0032P)$$

Nous avons été conduit à choisir $\rho = \dfrac{20}{3}$.

Le point P_1 se détermine alors comme suit *(fig. 35 et abaque LXV)* : double alignement en équerre θ — P, D — β ; pivotement autour de β, et double alignement en équerre β — V, P — α ; intersection de la ligne α, parallèle à Oy, et de la ligne V des réseaux (α) et (V). Sur la figure 35, les points successifs ainsi trouvés sont marqués 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, P_1.

Point P_2. — Ce point est à l'intersection de la radiante :

$$\frac{x}{y} = \frac{P \sin \alpha}{2.000}$$

et de la droite $y = \gamma$, parallèle à Ox, définie par :

$$\gamma = \frac{-2.000}{p(0{,}0025 + \sin \alpha)}.$$

On peut déterminer chacune de ces droites soit par 2 abaques à réseaux, soit par 2 abaques à courbes cotées qui don-

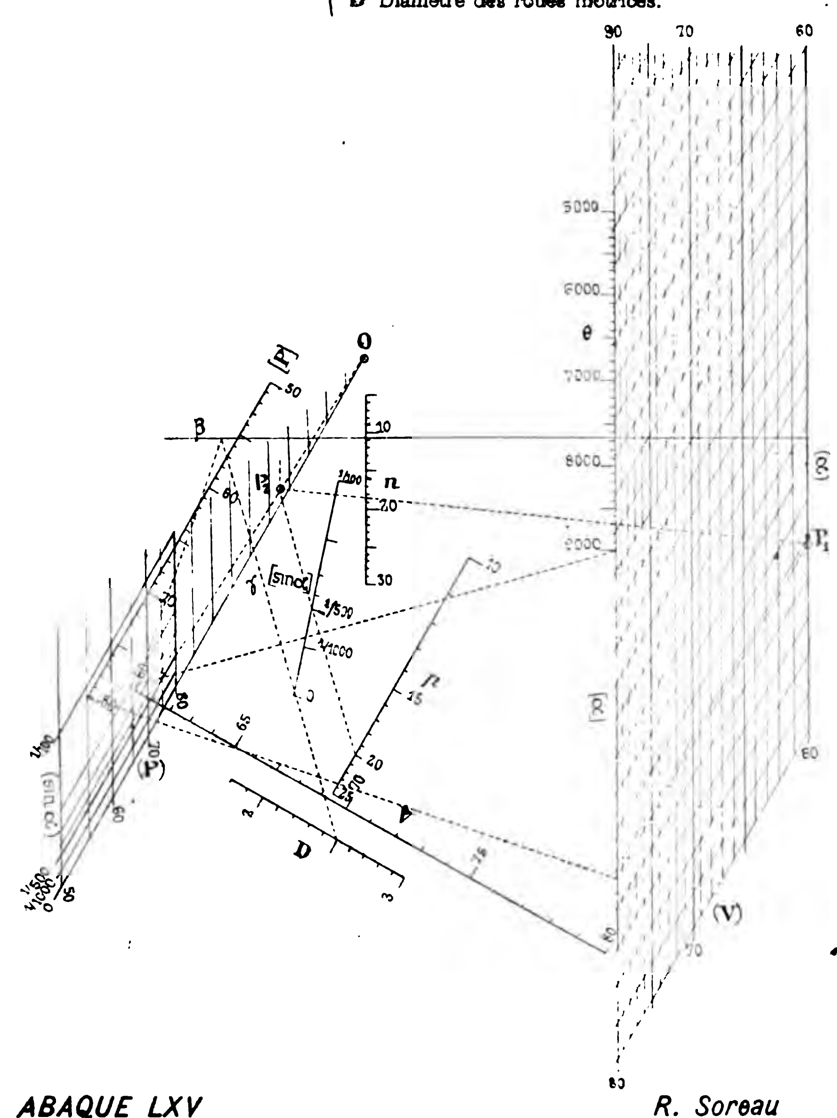
CONVOI REMORQUÉ

par une locomotive à voyageurs

Formule de MM. Frank et Vaes :

$$n = \frac{\frac{0{,}496\sqrt{D}}{V} - 0{,}0014\,V^2 - (31 + 0{,}0032\,P) - P\sin\alpha}{(0{,}0075 + \sin\alpha)\,p + 0{,}00425\,V^2}$$

n Nombre des véhicules.
p Poids brut moyen de chaque véhicule.
V Vitesse.
$\sin\alpha$ Déclivité.
$\theta = \frac{p\,d^2 l}{D}$
P Poids de la locomotive et du tender, en marche.
D Diamètre des roues motrices.



ABAQUE LXV

R. Soreau

nent un point de la radiante et un point de la parallèle, soit par 1 abaque à réseaux et 1 abaque à courbes cotées. La première disposition donne le point P_2 sans aucune construction, mais il y a 6 groupes de réseaux cotés ou non cotés dont 4 se superposent en partie, et la lecture demande une très grande attention ; la deuxième disposition est beaucoup plus claire, mais la clé exige plusieurs tracés ; nous nous sommes arrêté à la troisième, en représentant la première équation par le faisceau de radiantes issues de O et tracées à travers les réseaux :

$$x = \lambda'' \sin \alpha$$

$$y = \frac{2.000 \lambda''}{P},$$

et la deuxième équation par l'abaque en Z à simple alignement de :

$$\frac{2.000}{p} = - \gamma(0,0025 + \sin \alpha).$$

Pour le premier abaque nous avons choisi $\lambda'' = 2.000$. Pour le deuxième abaque nous avons pris :

$$u_1 = - \gamma,$$

$$u_2 = \frac{2\lambda_1}{\frac{p}{1.000}}$$

$$u_3 = d \, \frac{\lambda_1(0,0025 + \sin \alpha) - 1}{\lambda_1(0.0025 + \sin \alpha) + 1}$$

avec $d = 40$ *mm*, $\lambda_1 = 300$ *mm*.

Le point P_2 se détermine alors comme suit : alignement p — sin α, d'où le point γ de l'échelle $[\gamma]$ et la droite γ du réseau (γ) ; intersection de cette droite avec la radiante (P, sin α) issue du point O. Sur la figure 35, les points successifs ainsi trouvés sont marqués 8, 9, 10, 11, P_2.

On voit que l'abaque a 10 systèmes figuratifs cotés :

pour	θ	1 droite,
	D	1 droite,
	P	1 droite, 1 réseau,
	p	1 droite,
	n	1 droite,
	V	1 courbe, 1 réseau,
	sin α	1 droite, 1 réseau.

L'abaque peut donc donner, sans tâtonnements, une des quantités θ, D, p, n quand les 6 autres sont connues. Au contraire, il faudrait opérer par tâtonnements si l'inconnue était P, V ou sin α.

Les lignes en pointillé sur l'abaque correspondent à la recherche de n pour $\theta = 9\,000\ kg$, $D = 2{,}50\ m$, $P = 80\ t$, $p = 20\ t$, $V = 60\ km$, $\sin \alpha = \frac{1}{500}$. On détermine P_1 et P_2 comme il a été dit ; l'alignement $P_1\ P_2$ montre que n est compris entre 18 et 19. La résolution de l'équation donne $n = 18{,}5$. On voit donc que l'abaque, malgré ses très petites dimensions, est néanmoins assez précis. Il va sans dire que, si l'on voulait s'en servir dans la pratique, il devrait être dessiné sur une feuille beaucoup plus grande, surtout si les limites des variations de V étaient plus étendues : alors les constructions apparaîtraient beaucoup plus clairement.

VI. — Étude particulière des formes canoniques.

189. — La méthode générale que nous venons d'indiquer permet, on le voit, de représenter des équations très compliquées à plus de 4 variables, ce qui n'avait encore été obtenu que pour les formes canoniques :

$$f_1 + f_2 \ldots + f_k + \ldots + f_n = 0 \qquad (a)$$

$$f_1 \quad f_2 \ldots\ldots f_k \ldots\ldots \quad f_n = 0 \qquad (a')$$

dans lesquelles f_k est fonction de α_k, et

$$u_1 + u_2 + \ldots + u_k + \ldots + u_n = 0 \qquad (b)$$

$$u_1 \quad u_2 \ldots\ldots\ldots u_n \ldots\ldots\ldots u_n = 0 \qquad (b')$$

dans lesquelles u_k est fonction de plusieurs variables α_k, β_k, γ_k....

Nous allons exposer rapidement les méthodes imaginées pour ces formes particulières, méthodes que nous compléterons en quelques points.

Nous notons ici, une fois pour toutes, que les formes (a) et (a'), (b) et (b'), s'échangent l'une dans l'autre par anamorphose logarithmique ou exponentielle. Tout mode de représentation de (a) ou (b) convient donc à (a') ou (b'), et réciproquement.

a) Forme $f_1 + f_2 \dots + f_n = o.$

190. — ***Généralisation de l'alignement simple de M. d'Ocagne; alignement par ligne brisée.*** — M. d'Ocagne a généralisé sa méthode de l'alignement simple en introduisant des variables auxiliaires $\beta_3 \beta_4 \dots \beta_{n-1}$ telles que :

$$f_1 + f_2 = \beta_3$$
$$\beta_3 + f_3 = \beta_4$$
$$\beta_4 + f_4 = \beta_5$$
$$\dots\dots\dots$$
$$\beta_{n-2} + f_{n-2} = \beta_{n-1}$$
$$\beta_{n-1} + f_{n-1} = \beta_n,$$

avec $\beta_n \equiv - f_n$. La somme de ces $(n - 2)$ équations reproduit la proposée. Or, chacune d'elles est représentable par un abaque à points alignés dans lequel on peut choisir arbitrairement les échelles : rien n'est donc plus facile que d'accoler les $(n - 2)$ abaques par les échelles $[\beta]$. On obtient ainsi (*fig. 36*) un abaque à droites parallèles, dont n sont cotées et $n - 3$ non cotées.

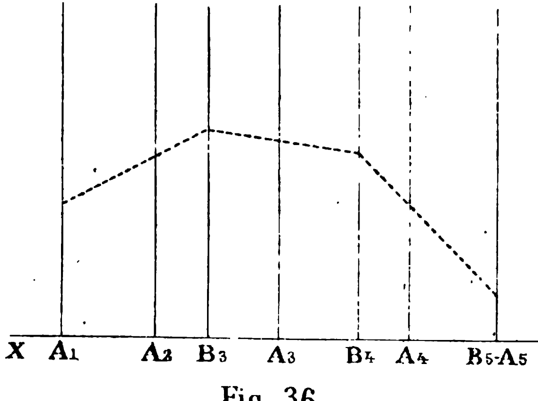


Fig. 36

Soit XX' une perpendiculaire commune coupant l'échelle f_k, de module l_k, au point A_k, l'échelle β_i, de module λ_i, au point B_i. On a :

$$\frac{A_1B_3}{A_2B_3} = -\frac{l_1}{l_2} \quad \text{avec} \quad \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} = \frac{1}{\lambda_3}$$

$$\frac{B_3B_4}{A_3B_4} = -\frac{\lambda_3}{l_3} \qquad \frac{1}{\lambda_3} + \frac{1}{l_3} = \frac{1}{\lambda_4}$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

$$\frac{B_{n-1}B_n}{A_{n-1}B_n} = -\frac{\lambda_{n-1}}{l_{n-1}} \qquad \frac{1}{\lambda_{n-1}} + \frac{1}{l_{n-1}} = \frac{1}{\lambda_n}$$

et, comme $\lambda_n = - l_n$,

$$\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} + \dots + \frac{1}{l_{n-1}} + \frac{1}{l_n} = o.$$

La représentation de :

$$f_1 + f_2 = f_3 + f_4$$

par un abaque à double alignement concourant (**119**) est un cas particulier de cette méthode générale. On a alors une droite auxiliaire.

191. — *Généralisation de notre double alignement parallèle ; alignement par chevrons.* — Or, nous savons que, pour ce cas particulier de 4 variables, on peut supprimer la droite auxiliaire en recourant au double alignement parallèle (**118**). Plus généralement, on réduira le nombre des droites auxiliaires en employant le mode de représentation suivant :

Introduisons les variables $\beta_4 \beta_6 \beta_8 \ldots$, telles que

$$f_1 + f_2 = -f_3 + \beta_4$$
$$\beta_4 + f_4 = -f_5 + \beta_6$$
$$\beta_6 + f_6 = -f_7 + \beta_8$$

. . . .

. . . .

$$\begin{cases} \beta_{n-2} + f_{n-2} = -f_{n-1} + \beta_n & \text{si } n \text{ est pair,} \\ \beta_{n-1} + f_{n-1} = -f_n & \text{si } n \text{ est impair.} \end{cases}$$

Si n est pair, on prend en outre $\beta_n \equiv -f_n$.

Nous avons ainsi obtenu des abaques, disposés comme l'indiquent les figures 37, 38, et dans lesquels le nombre des droites auxiliaires se réduit de $n - 3$ à $\frac{n-3}{2}$ si n est impair, et à $\frac{n-4}{2}$ si n est pair. Les alignements successifs s'obtiennent par des sortes de chevrons, le dernier alignement étant formé de 3 points en ligne droite quand n est impair.

Pour $n = 4$, il n'y a donc pas de droite auxiliaire, résultat que nous connaissons.

D'après ce qu'on a vu au n° **118**, si l'on prend l_1, l_2, l_3, pour modules des échelles f_1, f_3, $f_5 \ldots$, les modules de f_2, f_4, $f_6 \ldots$ sont $-l_1$, $-l_2$, $-l_3 \ldots$, et l'on a

$$A_1A_2 = \lambda l_1$$
$$A_3B_4 = B_4A_4 = \lambda l_3$$
$$A_5B_6 = B_6A_6 = \lambda l_5.$$

. . .   . . .

Ainsi, pour tous les groupes intermédiaires tels que $A_3B_4A_4$, les deux droites cotées A_3 et A_4 sont à égale distance de la droite auxiliaire B_4. Si donc on est très limité par les dimensions de la feuille dans le sens XX′, on peut tracer la droite A_4 à gauche de B_4 : elle coïncide alors avec la droite A_3; pour conserver les parallélismes dans les constructions de la clé, il faut que A_5 passe à droite de B_6 et vienne coïncider avec A_6, et ainsi de suite. On déduit de la sorte la figure 39 de la figure 38. Nous appellerons ce dispositif *abaque à chevrons pliés ;* on voit qu'il faut plier les chevrons alternativement à droite et à gauche des lignes de concours B_4, B_6...

192. — Remarquons que, dans la proposée, on peut ajouter une quantité quelconque h_k à la fonction f_k, quitte à retrancher cette quantité de la dernière fonction f_n. Par suite, les origines des $n - 1$ premières échelles cotées sont arbitraires, et il suffit, quand on les a tracées, de donner à l'échelle f_n une position convenable sur son support.

Pour la même raison, on peut négliger momentanément la constante, s'il y en a une.

193. — Eu égard à cette remarque, qui s'applique aussi bien aux abaques à alignement par ligne brisée qu'aux abaques à chevrons, nous donnons, pour le tracé de ces derniers, la règle pratique suivante, d'une extrême simplicité :

Calculer, pour chaque fonction, la différence $d_k = f_k(b_k) - f_k(a_k)$, a_k *et* b_k *étant les valeurs extrêmes de* α_k. *Ranger les différences* d_k *par groupes de deux, chaque groupe étant formé, de préférence, des échelles dont les différences* d_k *se rapprochent le plus. Multiplier les fonctions* f_1, f_2; f_3, f_4; f_5, f_6..., *ainsi groupées, par les modules* l_1, l_3, l_5...

Tracer des droites dont les écartements A_1A_2, $A_3B_4 = B_4A_4$, $A_5B_6 = B_6A_6$.... *soient proportionnels à* l_1, l_2, l_3 .., *en attribuant de préférence la dernière droite à l'inconnue habituelle. Déterminer sur ces droites le sens des graduations croissantes en fixant arbitrairement le sens de la dernière échelle, puis en prenant un tracé arbitraire, tel que* (fig. 38) *le tracé qui va de* a_1 *à* a_8 *; pour déterminer le sens sur la droite* A_1, *par exemple, on prendra un point* c_1 *; quand les autres variables ne changent pas, le tracé aboutit à* c_8*; si donc l'équation indique que* α_8 *croît en même temps que* α_1, *les flèches seront en sens inverse. Toutes les flèches étant placées, sauf sur les droites auxiliaires, construire en conséquence les* $(n - 1)$ *premières échelles, sans s'inquiéter de leur origine, et de façon seulement que les parties utiles soient en face les unes des autres. Déterminer, d'après une solu-*

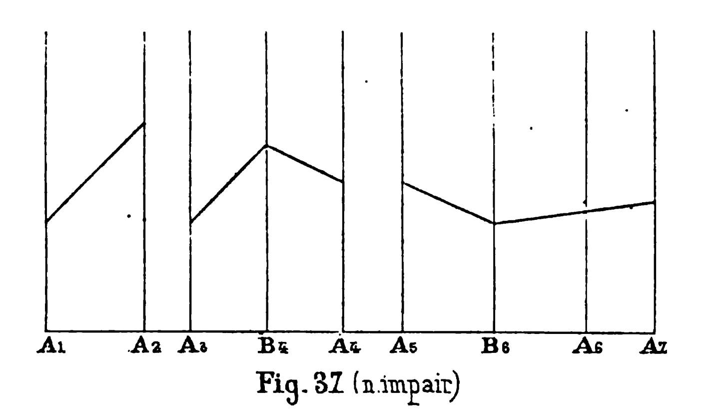


Fig. 37 (n impair)

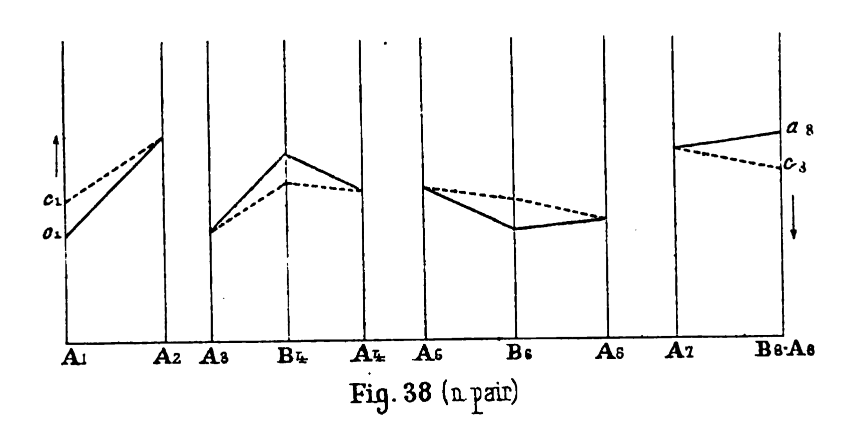


Fig. 38 (n pair)

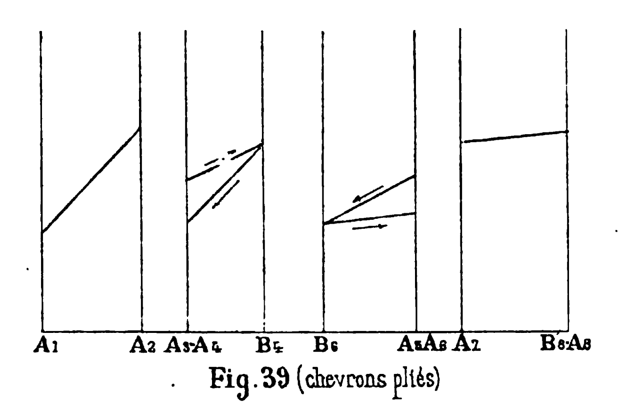


Fig. 39 (chevrons pliés)

tion de la proposée, un point de la n^e *échelle, puis la construire. Finalement, s'il y a lieu, déplacer chaque groupe tel que* $A_3B_4A_4$ *dans le sens même des échelles, pour lui faire occuper une position plus convenable que celle donnée par les constructions précédentes.*

194. — Exemple : *Vitesse initiale d'un projectile (Abaque LXVI.)* — Dans ses magistrales études sur les effets des explosifs, M. Sarrau (1) est parvenu à chiffrer, d'une façon remarquablement exacte, les influences diverses qui déterminent la vitesse initiale V d'un projectile et la pression P sur la culasse : c'est un des plus beaux exemples de l'application simultanée de l'analyse mathématique et de l'observation à l'étude de phénomènes complexes.

Les formules les plus récentes de M. Sarrau sont :

$$V = A\varphi^{\frac{1}{2}}\varpi^{\frac{3}{8}}\Delta^{\frac{1}{4}}c^{\frac{1}{4}}u^{\frac{1}{8}}\,p^{-\frac{1}{2}}f(x),$$

$$P = B\varphi\,\varpi^{\frac{7}{4}}s^{-1}c^{-1}u^{-\frac{1}{2}}p^{-\frac{1}{4}}x,$$

dans lesquelles les lettres ont les significations suivantes :

p, poids du projectile,

c, calibre,

u, parcours du projectile dans l'âme,

ϖ, charge de poudre,

φ, coefficient balistique de la poudre,

x, module de vivacité de la poudre, $f(x)$ fonction connue,

s, volume de la chambre,

Δ, densité de chargement,

A et B, constantes qui dépendent des unités choisies et de la poudre prise comme poudre-type. Bien que, avec les nouvelles poudres, on ait proposé de modifier les constantes données par M. Sarrau (2), c'est avec elles que nous avons établi l'abaque LXVI : elles se rapportent à la poudre W 13-16, les unités étant le décimètre, le kilogramme et la seconde.

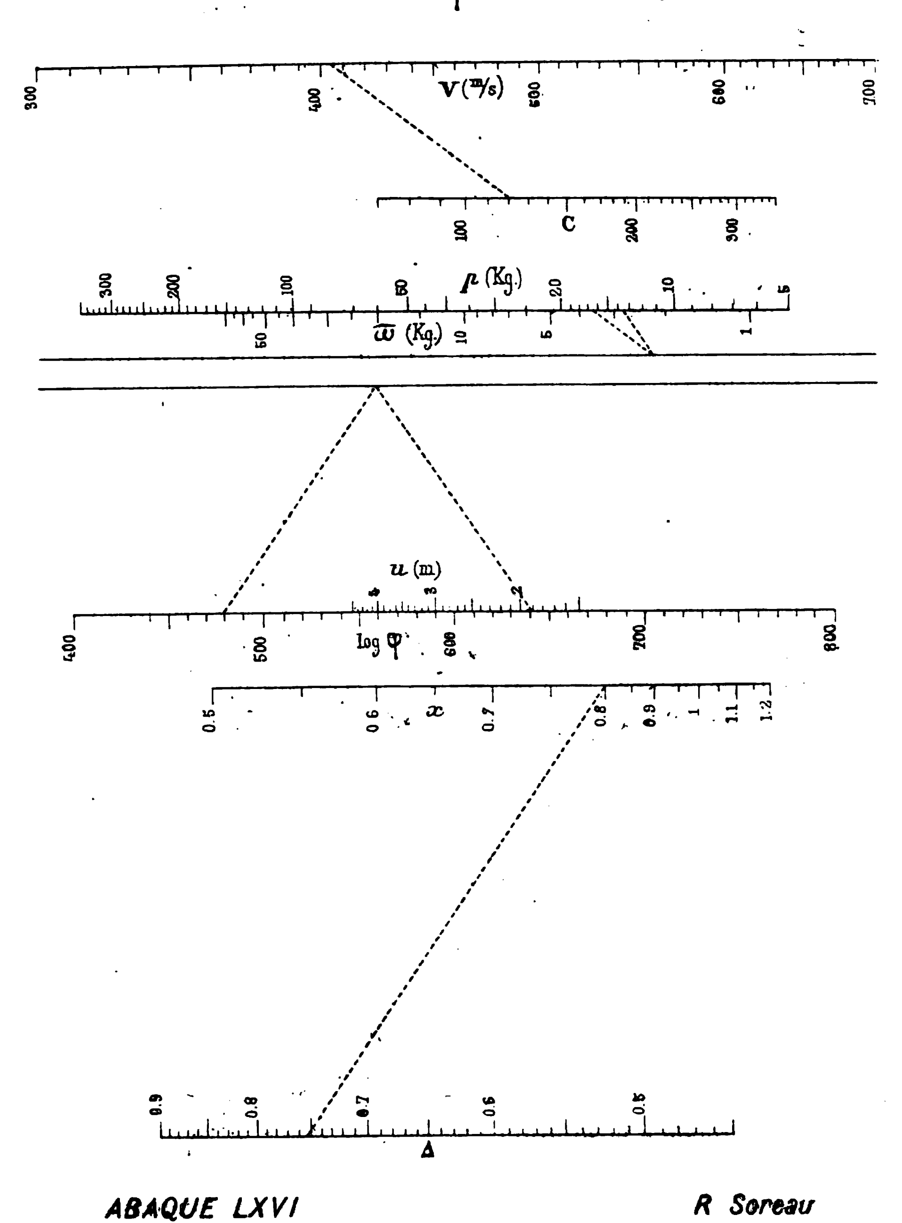
Cet abaque a été construit d'après la règle du n° **193**, avec

(1) *Mémorial de l'Artillerie de marine*, 1876, 77, 78.

(2) Commandant E. Vallier. *Balistique des nouvelles poudres*. (Encyclopédie des aide-mémoire Léauté). Le commandant Vallier établit d'ailleurs, pour les nouvelles poudres, des formules un peu différentes de celles de M. Sarrau.

VITESSE INITIALE D'UN PROJECTILE

Formule de M Sarrau : $V = A\,\varphi^{\frac{1}{2}}\,\varpi^{\frac{3}{8}}\,\Delta^{\frac{1}{4}}\,C^{\frac{1}{4}}\,u^{\frac{3}{8}}\,p^{-\frac{1}{2}}\,f.(x)$



ABAQUE LXVI

R Soreau

chevrons pliés pour bien utiliser les petites dimensions de la feuille. Les échelles sont :

$$\begin{cases} u_\Delta = 1000\frac{1}{4}\log\Delta \\ u_x = 1000\log x \end{cases} \qquad \text{écartement } 60\ mm.$$

$$\begin{cases} u_\varphi = 500\frac{1}{2}\log\varphi \\ u_u = 500\frac{1}{8}\log u \end{cases} \qquad \text{distance à l'échelle auxiliaire } 30\ mm.$$

$$\begin{cases} u_\varpi = 100\frac{3}{8}\log\varpi \\ u_p = 100\frac{1}{2}\log p \end{cases} \qquad \text{distance à l'échelle auxiliaire } 6\ mm.$$

$$\begin{cases} u_c = 300\frac{1}{4}\log c \\ u_V = 300\log V \end{cases} \qquad \text{écartement } 18\ mm.$$

Le tracé en pointillé correspond au cas du canon de 120 tirant un projectile de 16,32 *kg* avec une charge de 2,80 *kg* de poudre SP_1, la densité de chargement étant 0,754.

On a alors, dans le système d'unités indiquées sur les échelles de l'abaque :

$$\Delta = 0{,}74, \qquad x = 0{,}8, \qquad \log\varphi = 0{,}481, \qquad u = 1{,}902\ m,$$
$$\varpi = 2{,}80\ kg, \qquad p = 16{,}32\ kg, \qquad c = 121\ mm.$$

L'abaque donne $V = 404\ m$; par la résolution assez longue de la formule, qui nécessite des tables, on obtiendrait 403,9 *m*.

195. — *Généralisation des abaques à double alignement en équerre, avec transparent mobile.* — En faisant tourner de 90° les échelles $(f_3\beta_4f_4)$, $(f_7\beta_8f_8)$...., on a des abaques qui forment une série de rectangles accolés. Il suffit de faire pivoter le transparent successivement autour des points auxiliaires β_4, β_6... pour arriver de proche en proche à la solution.

Cette méthode a l'avantage de bien séparer les échelles qui doivent être associées. Ainsi, pour une équation à 6 fonctions f_k, on a une seule droite auxiliaire β_4, et les échelles $(f_3\beta_4f_4)$ sont perpendiculaires aux 4 autres.

196. — EXEMPLE : *Relation entre les éléments des machines marines. (Abaque LXVII).* — Étant donnés les éléments écrits à la légende de l'abaque, on a :

$$N = \frac{1}{75} \times 10\,000\,S \times p_m \times \frac{V}{60}$$

d'où
$$0{,}45\,N = SVp_m. \qquad (1)$$

S est la section de l'ensemble des cylindres s'il y a admission directe, ou la section des derniers cylindres détendeurs s'il y a multiple expansion.

La pression moyenne p_m est d'ailleurs donnée par la formule

$$p_m = kp\varepsilon\left(1 + \text{log nép.}\,\frac{1}{\varepsilon}\right) \qquad (2)$$

dans laquelle on adopte généralement pour k les valeurs suivantes :

Machines	à simple expansion . . .	0,60 à 0,66
—	Woolf.	0,65 à 0,68
—	compound.	0,66 à 0,70
—	à triple expansion . . .	0,68 à 0,70
—	à quadruple expansion .	0,65 à 0,70.

Dans chaque catégorie de machines, le coefficient k croît avec la détente et avec la pression ; il est plus élevé avec les machines à condensation.

En éliminant p_m entre les équations (1) et (2), on aurait la relation entre les éléments des machines marines. Ces deux équations donnent, du reste, un système par lequel on peut construire l'abaque de cette relation, la variable auxiliaire p_m ayant ici une signification : on pourra donc, à titre d'indication, coter l'échelle $[p_m]$, bien que cela ne soit pas indispensable pour déduire un des éléments N, S, V, p, k, ε en fonction des 5 autres.

Nous avons construit l'abaque LXVII avec :

$$\begin{cases} u_N = 100 \log N \\ u_S = 100 \log S \end{cases} \qquad \text{écartement } 30\ mm,$$

$$\begin{cases} u_V = 400 \log V \\ u_{p_m} = 400 \log p_m \\ u_k = 400 \log k \end{cases} \qquad \begin{matrix} — \quad 120 \\ — \quad 120 \end{matrix}$$

$$\begin{cases} u_p = 200 \log p \\ u_\varepsilon = 200 \log \varepsilon\left(1 + \text{log nép.}\,\frac{1}{\varepsilon}\right) \end{cases} \qquad — \quad 60$$

Relation entre les éléments des

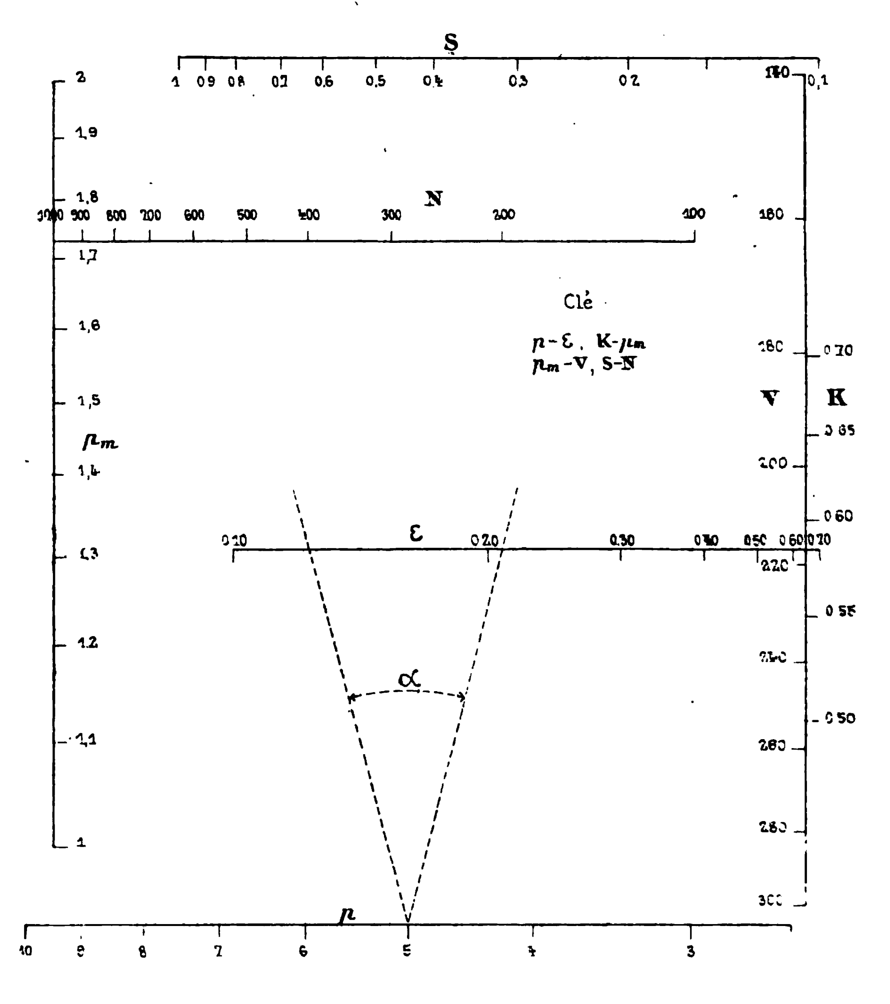
MACHINES MARINES

Formules

$$0{,}45\,N = S V p_m$$

$$p_m = K p \varepsilon \left(1 + ln \frac{1}{\varepsilon}\right)$$

- **N** Puissance en chevaux indiqués
- **S** Section des derniers cylindres détendeurs, en m²
- **V** Vitesse du piston, en m/s
- p_m Pression moyenne, en Kg. /cm²
- p Pression aux générateurs, en Kg. /cm²
- **K** Coefficient qui dépend de la distribution,
- ε Rapport d'admission dans le cylindre



ABAQUE LXVII

R. Soreau

et nous avons placé les échelles [V], [p_m], [K] perpendiculairement aux 4 autres, avec chevrons pliés. Le mode d'emploi est alors le suivant : pour calculer N, par exemple, prendre le double alignement en équerre $p\varepsilon$, Kp_m, faire pivoter autour du point auxiliaire p_m, et prendre le double alignement en équerre $p_m V$, SN : N est donc ainsi trouvé.

Sur l'abaque, nous avons tracé un angle α dont voici la signification : le rapport d'admission est choisi d'après la pression à la chaudière, et, d'une façon générale, l'on obtient les résultats les plus favorables quand il y a sensiblement entre p et ε les correspondances indiquées au tableau ci-dessous :

p	2,5	3	4	5	6	7
ε	0,6	0,35	0,24	0,20	0,10	0,08

Donc, à une valeur de p correspond un intervalle dans lequel il convient de choisir ε, et par suite l'alignement $p\varepsilon$ doit se trouver dans un certain angle, qui est l'angle α.

197. — *Généralisation des abaques hexagonaux ; abaques hexagonaux à glissement de M. Lallemand.* — Au lieu de représenter les équations $\varphi = 0$ du n° **190** par des abaques à échelles parallèles, M. Lallemand les représente par des abaques hexagonaux dont les échelles sont perpendiculaires à des directions fixes Ox, Oy, Oz faisant entre elles des angles de 120°. Les échelles des divers abaques sont disposées de la façon suivante :

perpendiculairement à :

Ox	Oy	Oz
f_1	f_2	β_3
β_4	$-f_3$	β_3
β_4	f_4	β_5
β_6	$-f_5$	β_5
β_6	f_6	β_7
.	.	.
.	.	.
.	.	.

Il est visible que $\beta_n \equiv -f_n$ vient dans la colonne Ox ou dans la colonne Oz suivant que n est pair ou impair ; l'échelle est donc

perpendiculaire à Ox ou à Oz, d'où les deux dispositions représentées par les figures 40 et 40 *bis*.

Les index D_x, D_y, D_z dont on se sert pour les abaques hexagonaux sont donc parallèles aux directions fixes Ox, Oy, Oz, et les opérations à effectuer pour obtenir l'inconnue α_n sont indiquées schématiquement par la trajectoire avec flèches située à

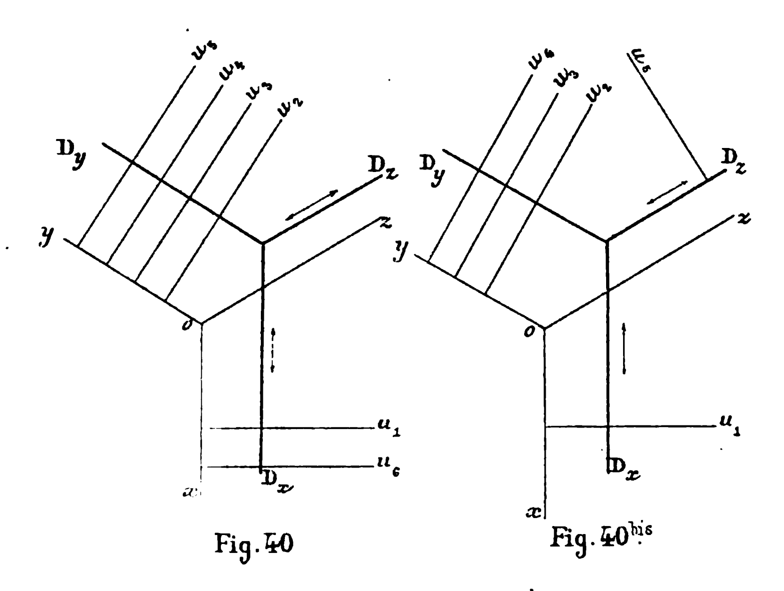


Fig. 40 Fig. 40 bis

droite du tableau ci-dessus. Ces opérations sont les suivantes :

Première équation : Faire passer D_x par α_1, D_y par α_2 ; D_z donne alors β_3 ;

Deuxième équation : Faire glisser D_z sur lui-même, de façon que D_y passe par α_3 ; D_x donne alors β_4 ;

Troisième équation : Faire glisser D_x sur lui-même, de façon que D_y passe passe par α_4 ; D_z donne alors β_5 ;

Et ainsi de suite. On arrive de proche en proche à déterminer le point $\beta_n = \alpha_n$ avec l'index D_x si n est pair, avec l'index D_z si n est impair.

Il est donc tout à fait inutile de tracer les échelles β, sauf la dernière $\beta_n \equiv - f_n$, et le mode d'emploi se réduit à la règle suivante :

Le transparent étant orienté et sa position initiale définie par les points α_1 et α_2, le faire glisser alternativement suivant D_z et suivant D_x, de telle sorte que D_y passe successivement par les points α_3, α_4 . . . α_{n-1}, dont les échelles sont toutes perpendiculaires à Oy. La position finale donne α_n sur

l'échelle f_n *avec l'index* D_x *ou l'index* D_z *suivant que cette échelle est perpendiculaire à* Ox *ou à* Oz, *c'est-à-dire suivant que* n *est pair ou impair.*

Pour opérer facilement les glissements alternatifs des index, il sera commode de les tracer sur une substance transparente rigide, comme on fait pour les rapporteurs, et de limiter ce transparent par trois droites à 120°.parallèles aux index. Il suffira d'appuyer alternativement sur une règle les côtés parallèles à D_x et à D_z et de faire glisser le transparent sur cette règle.

a') Forme $f_1 f_2 \ldots f_n = 0$,

198. — *Généralisation de nos abaques à double alignement parallèle ou en équerre, sans anamorphose logarithmique.* — Comme aux n^{os} **64** et **124**, et pour les mêmes raisons, il peut y avoir intérêt à chercher, sans recourir à l'anamorphose logarithmique, un mode de représentation directe de l'équation :

$$f_1 f_2 f_3 \ldots f_n = 0.$$

Dans ce but, nous la remplaçons par le système :

$$f_1 f_2 f_3 = \beta_4,$$

$$\beta_4 f_4 f_5 = \beta_6,$$

$$\cdots\cdots$$

$$\cdots\cdots$$

$$\left\{\begin{array}{ll} \beta_{n-2} f_{n-2} f_{n-1} = f_n & \text{si } n \text{ est pair,} \\ \beta_{n-1} f_{n-1} f_n = 1 & \text{si } n \text{ est impair,} \end{array}\right.$$

On représentera chacune de ces équations par un abaque à double alignement parallèle ou en équerre (**125**), la dernière étant représentée par un abaque à 3 points alignés si *n* est impair. Ces divers abaques seront accolés par les échelles β.

Ce mode de représentation est particulièrement avantageux quand $f_1 f_2 \ldots f_n$ sont des fonctions linéaires de $\alpha_1 \alpha_2 \ldots \alpha_n$, car on obtient alors des échelles linéaires faciles à graduer. C'est ainsi qu'on aurait pu construire aisément l'abaque des équations du n° **196** avec des échelles régulières pour toutes les variables, sauf ε.

Nous allons donner un exemple de cette disposition.

199. — Exemple : *Qualité de la vapeur des chaudières de locomotives (Abaque LXVIII).* — Notre Collègue M. A. Mallet (1), étudiant la qualité de la vapeur des chaudières, et plus spécialement des chaudières de locomotives, indique l'expression :

$$u = \frac{\sqrt{gC}}{\delta N},$$

comme « caractéristique de la valeur de la chaudière eu égard à la manière dont la vapeur produite émerge de la surface de niveau d'eau ; plus cette expression est faible, plus la chaudière est dans des conditions favorables à ce point de vue. » g, C et N sont la surface de grille, la surface totale de chauffe et la surface de niveau de l'eau, en mètres carrés ; δ est le poids du mètre cube de vapeur à la pression absolue $P + 1$. La surface des tubes Serve en contact avec les gaz doit subir, dans l'évaluation de la surface totale de chauffe, une réduction que M. Mallet estime à 15 0/0.

L'expression ci-dessus, multipliée par un coefficient m, donne la vitesse absolue d'émersion de la vapeur. Suivant qu'on adopte, pour évaluer le poids de vapeur produite par heure, le coefficient 368, donné par M. Marié, ou le coefficient 460, donné par MM. Deharme et Pulin, on a, en exprimant la vitesse d'émersion v en mètres par seconde, $v = 0,1\, u$ ou $v = 0,125\, u$.

Pour calculer la valeur de u, il convient d'exprimer δ en fonction de P, pression à la chaudière, qui est la donnée habituelle. Avec un abaque, cela se fait très facilement, puisqu'il suffit de coter l'échelle [δ] par rapport à P, d'après les tables connues. C'est ce que nous avons fait sur l'abaque LXVIII. De plus, comme il ne s'agit pas d'obtenir des valeurs absolues, mais seulement des valeurs comparatives, nous avons coté l'échelle [u] avec les valeurs proportionnelles v, en mettant de part et d'autre de l'échelle les graduations $0,1\, u$ et $0,125\, u$.

Pour représenter la formule à 5 variables de M. Mallet, on pourrait la transformer par anamorphose logarithmique et recourir à un abaque à 5 échelles parallèles. Mais l'abaque s'établit beaucoup plus rapidement en posant :

$$x = \frac{\sqrt{g}}{N},$$

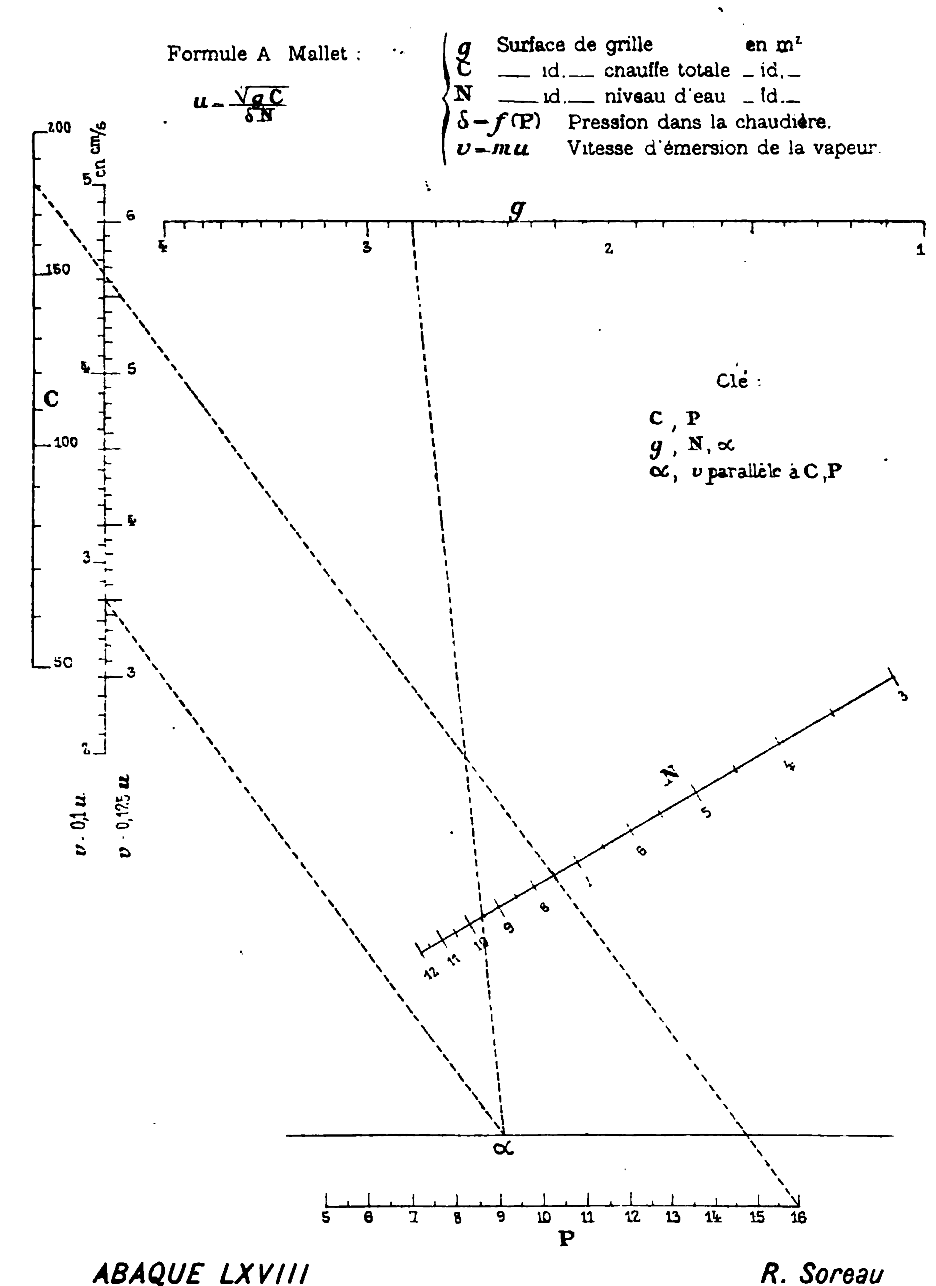
d'où :

$$\frac{u}{x} = \frac{\sqrt{C}}{\delta}.$$

(1) A. Mallet, Chroniques nos 259, 260 et 261 du *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France* (juillet, août et septembre 1901).

QUALITÉ DE LA VAPEUR

des chaudières de locomotives



On a ainsi deux abaques : le premier est à simple alignement, le second est à double alignement parallèle, et résulte immédiatement de la proportion entre u, α, $\sqrt{C}$ et δ.

On obtient donc les 6 échelles, dont 1 auxiliaire :

$$\left\{\begin{array}{ll} u_1 = l_1\sqrt{g} & [g] \\ u_2 = l_2\alpha & [\alpha] \\ u_3 = d\,\dfrac{l_1 N - l_2}{l_1 N + l_2} & [N] \end{array}\right.$$

$$\left\{\begin{array}{ll} u_4 = l_4 u = \dfrac{l_4}{m} v & [v] \\ u_2 = l_2\alpha & [\alpha] \\ u_5 = n l_4 \sqrt{C} & [C] \\ u_6 = n l_2 \delta = n l_2 f(P) & [P] \end{array}\right.$$

et les deux abaques partiels sont accolés par l'échelle auxiliaire $[\alpha]$.

Tel est l'abaque LXVIII, construit avec $l_1 = 100$, $l_2 = 300$, $l_4 = 250$, $d = 120$ *mm*, $n = \frac{1}{25}$.

Les lignes en pointillé correspondent au type compound à grande vitesse du Nord de 1900 : c'est la locomotive dont la chaudière est la mieux combinée au point de vue envisagé par M. Mallet. On a alors $g = 2{,}80\ m^2$, $C = 182\ m^2$ (avec réduction de 15 0/0 sur les tubes Serve), $N = 9{,}60\ m^2$, $P = 16\ kg$; suivant qu'on prend le coefficient 0,1 ou le coefficient 0,125, on trouve que la vitesse absolue d'émersion de la vapeur est de 2,8 ou 3,5 *cm/s*.

b et *b'*) *Formes* $u_1 + u_2 + \dots + u_n = o$,

et $u_1 \quad u_2 \quad \dots \quad u_n = o$.

200. — Théoriquement, les divers modes de représentation qui viennent d'être exposés sont applicables au cas où certaines fonctions f_k à une variable α_k sont remplacées par des fonctions u_k à plusieurs variables $\alpha_k \beta_k \gamma_k \dots$. Il suffit alors de remplacer les échelles simples par les échelles multiples correspondantes.

Il pourrait sembler que cette méthode, que nous appellerons *méthode des polynômes*, puisse constituer un mode général de représentation, car une équation est toujours de la forme :

$$\Sigma u_n = o.$$

En réalité, si l'on opérait ainsi, il arriverait généralement que la plupart des variables auraient plusieurs systèmes figuratifs, ce qu'il convient d'éviter autant que possible.

Si les échelles multiples sont représentables par des abaques à courbes cotées, l'abaque général ne contient pas de réseaux.

Si les échelles multiples contiennent des réseaux curvilignes, on peut se dispenser de déterminer les points sur le support de chacune de ces échelles en recourant à des abaques hexagonaux à glissement, qui jouissent de la propriété signalée au n° **158** pour les abaques hexagonaux ordinaires. Ainsi, pour les échelles binaires, il suffit de faire passer l'index par le point $(\alpha_k \beta_k)$ donné par l'intersection des courbes α_k et β_k des réseaux (α_k) (β_k). En raison des erreurs possibles dans les déplacements successifs des index, les abaques hexagonaux à glissement ne présentent, à notre avis, d'intérêt pratique que dans ce cas particulier des échelles multiples à réseaux curvilignes. Nous allons en donner un exemple.

201. — Exemple : *Erreur de réfraction dans le nivellement géométrique (Abaque LXIX).* — Dans le nivellement de haute précision, on tient compte de la réfraction due à ce que les températures de l'air t_1 au point lu sur la mire avant, t_2 à la hauteur de la lunette, t_3 au point lu sur la mire arrière, ne sont pas identiques. L'erreur de réfraction est donnée, au signe près, par la formule inscrite sur l'abaque, dont les termes ont la signification suivante :

ε, erreur de réfraction;

B, pression barométrique ;

D, différence brute de niveau, en valeur absolue;

L, longueur de la nivelée;

θ, moyenne arithmétique des températures t_1, t_2, t_3 ;

$\tau = t_2 - t_1$, $\tau' = t_3 - t_2$.

K et α sont des constantes, φ est une fonction connue, δ est donné par la relation :

$$\frac{\log(1 - \delta)}{\log(1 - \delta)} = \frac{\tau'}{\tau}. \qquad (1)$$

La formule peut s'écrire :

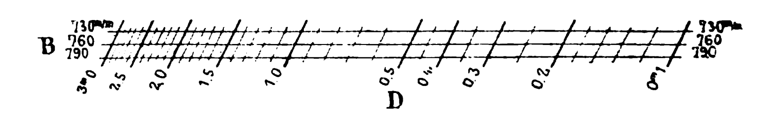
$$[\log B - \log D] + 2[\log L - \log(1 + \alpha\theta)] + [\log(\tau + \tau') + \log \varphi(\delta)]$$
$$= \log \varepsilon - \log K.$$

ERREUR DE RÉFRACTION

dans le nivellement géométrique

Formule ·

$$\varepsilon = K\frac{B}{D}\,\frac{L^2}{(1+\alpha\theta)^2}(\tau+\tau')\,\varphi(\delta)$$



ABAQUE LXIX

Ch. Lallemand

Cette équation est représentable par un abaque à glissement formé des 3 échelles binaires mises entre crochets, et de 1 échelle simple [ε]. Les supports de 2 quelconques de ces échelles [ε] et [L, θ] par exemple, sont perpendiculaires à Ox, les supports des 2 autres à Oy; il n'y a qu'un seul glissement suivant la troisième direction Oz.

M. Lallemand a décomposé les échelles binaires de la façon suivante :

$$[B, D] \quad \begin{cases} y_1 = l_1 \log B & (B) \\ l_1 x_1 = l y_1 - l l_1 \log D & (D) \end{cases}$$

$$[L, \theta] \quad \begin{cases} y_2 = l_2 \log (1 + \alpha\theta) & (\theta) \\ l_2 x_2 = 2 l l_2 \log L - 2 l y_2 & (L) \end{cases}$$

$$[\tau, \tau'] \quad \begin{cases} y_3 = l_3 \tau & (\tau) \\ x_3 = l \left[\log \left(\frac{y_3}{l_3} + \tau' \right) \right] + l \log \varphi(\delta) & (\tau') \end{cases}$$

Le dernier réseau (τ') n'est pas donné explicitement en fonction de τ', puisqu'il contient δ, fonction de τ. Il est, du reste, impossible de donner cette relation sous forme explicite. Mais il est facile de construire chaque courbe τ' du réseau par points, en joignant à x_3 la relation (1), qu'on peut écrire par élimination de τ :

$$y_3 = l_3 \tau' \frac{\log (1 - \delta)}{\log (1 + \delta)}.$$

Considérant δ comme un paramètre, et donnant à τ' une valeur τ'_1, on obtient les coordonnées x_3, y_3 en fonction du paramètre δ, ce qui permet de construire une courbe quelconque τ'_1 du réseau (τ').

L'emploi de l'abaque est le suivant: faire passer les index D_x et D_y par les points (L, θ) et (B, D), puis faire glisser le transparent suivant D_z (c'est-à-dire suivant la direction des parallèles du réseau auxiliaire), jusqu'à ce que D_y passe par (τ, τ'); D_x coupe alors [ε] au point cherché.

C. — ÉCHELLES MOBILES

202. — Dans tous les abaques envisagés jusqu'ici, les systèmes figuratifs sont tracés sur un plan, sur lequel on effectue la construction géométrique qui constitue la clef de l'abaque, ou sur lequel on déplace un transparent qui donne mécaniquement cette construction.

Imaginons que les systèmes figuratifs soient tracés sur des transparents qu'on déplace les uns sur les autres suivant une loi donnée. On conçoit l'extension que ces nouveaux procédés sont susceptibles de donner à la Nomographie. Nous nous bornerons ici à signaler les cas les plus simples.

I. — Règles à tiroirs.

203. — De même que la méthode générale des polynômes, la règle à tiroir permet de représenter l'équation :

$$u_1 + u_2 + \ldots + u_k + \ldots = u_n,$$

avec $u_k = f(\alpha_{m_k}, \alpha_{n_k}, \alpha_{p_k} \ldots)$, pourvu que l'inconnue α_n tout au moins n'ait qu'un système figuratif. En effet, soient $O_1\ O_2 \ldots O_n$, les points des échelles $u_1\ u_2 \ldots u_n$ qui correspondent à une solution déterminée de la proposée : nous pouvons dès lors les prendre comme origines sur chaque échelle. Pour obtenir une solution quelconque, imaginons une règle dans laquelle les échelles fixes u_1 et u_n, ayant leurs origines O_1 et O_n dans le pro-

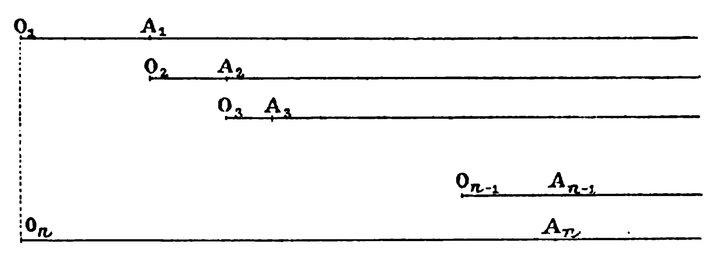


Fig. 41

longement l'une de l'autre (*fig. 41*), encadrent les échelles mobiles $u_2\ u_3 \ldots u_{n-1}$. Soient $A_1\ A_2 \ldots A_{n-1}$ les points qui correspondent aux valeurs des variables : le problème consiste à déterminer A_n sur l'échelle u_n. Pour cela, il suffit d'amener l'origine O_2 en face de A_1, O_3 en face de A_2, etc., O_{n-1} en face de A_{n-2} : le

point A_n situé en face de A_{n-1} donne la solution cherchée. En effet, on a bien évidemment :

$$O_1 A_1 + O_2 A_2 + \ldots + O_{n-1} A_{n-1} = O_n A_n,$$

d'où :

$$u_1 + u_2 + \ldots + u_{n-1} = u_n.$$

Comme pour les abaques à glissement, il n'est pas nécessaire de déterminer les points situés sur les supports des échelles multiples, si l'on a pris soin de construire ces échelles avec des axes rectangulaires. Ainsi, pour l'échelle binaire, il suffira de considérer le point d'intersection des deux réseaux.

204. — Exemples : *1° Règle à calcul.* — L'exemple le plus simple et le plus connu est donné par la règle à calcul, établie, comme on sait, pour résoudre l'équation :

$$\alpha_1 \alpha_2 = \alpha_3,$$

d'où :

$$\log \alpha_1 + \log \alpha_2 = \log \alpha_3.$$

On a, dans ce cas, 3 échelles logarithmiques, dont 1 mobile, et il suffit, pour obtenir α_3, d'amener O_2 sur le point α_1 et de lire le point α_3 sur le prolongement de α_2.

Inversement, si l'on cherche le quotient α_1 de α_3 par α_2, on amène en coïncidence α_2 et α_3, et on lit le point α_1 sur le prolongement de l'origine O_2.

205. — *2° Règle pour la poussée des terres sur un mur vertical de soutènement (Abaque LXX).* — Nous avons établi, à l'aide de l'abaque LIV de M. Renard, une règle, facile à transporter, qui permet aux entrepreneurs et conducteurs de travaux de calculer immédiatement la poussée des terres.

Reprenons l'équation :

$$\log \varpi + 2 \log H + 2 \log \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) + \log \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - \log 2$$
$$- \log \cos\left[\varphi_1 - \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)\right] = \log P.$$

Choisissons le point $\varpi = 1$, $H = 10$ pour origine de l'échelle (ϖ, H), le point $\varphi = 0$, $\varphi_1 = 0$ pour origine de l'échelle (φ, φ_1). L'origine de l'échelle [P] est déterminée par l'équation :

$$\log P = 2 - \log 2 = \log 100 - \log 2 = \log 50,$$

d'où :

$$P = 50.$$

RÈGLE A TIROIR

pour le calcul de la poussée des terres sur un mur vertical de soutènement

Formule de M. Boussinesq :

$$P = \varpi \frac{H^2}{2} \frac{tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{\cos\left[\varphi_1 - \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)\right]}$$

- φ Frottement des terres sur elles-mêmes.
- φ_1 ———— id. ———— la maçonnerie.
- ϖ Poids en tonnes du m³ des terres.
- H Hauteur du mur, en mètres.
- P Poussée en tonnes par m²

Hauteur du mur en mètres

Densité des terres

Frottement des terres sur la maçonnerie

Frottement des terres sur elles mêmes

Poussée des terres en tonnes par m²

ABAQUE LXX

R. Soreau
(d'après l'abaque de M. Renard)

Nous plaçons donc sur le prolongement l'un de l'autre les points 10 et 50 des échelles rectilignes et parallèles $H_{\varpi=1}$ et P; l'échelle mobile est alors (φ, φ_1), avec, pour origine, le point $\varphi = 0$, $\varphi_1 = 0$. Nous avons retourné la figure (φ, φ_1) de l'abaque de M. Renard, de façon que cette origine glisse sur l'échelle $H_{\varpi=1}$.

La position de la réglette mobile de l'abaque LXX correspond à l'exemple déjà envisagé au n° **171**, à savoir :

$$\varpi = 2\,t, \qquad H = 4{,}5\,m, \qquad \varphi = 30^\circ, \qquad \varphi_1 = 35^\circ.$$

On amène un curseur mobile, qui a pour but d'établir plus exactement les coïncidences, sur le point $\varpi = 2$, $H = 4{,}5$; il occupe ainsi la position indiquée en pointillé. Puis on fait passer l'origine de l'échelle mobile par ce curseur. On déplace ensuite le curseur de façon qu'il vienne sur le point $\varphi = 30^\circ$, $\varphi_1 = 35^\circ$ de l'échelle mobile; il occupe ainsi la position indiquée en traits pleins. On lit alors, à l'intersection de P et du curseur, la solution 5,87 *t*.

206. — *3° Règle pour la traction d'une locomotive donnée.* — M. Vaes a établi une règle à calcul de la formule (1) du n° **183**. Pour cela, il a rendu cette formule binôme en l'écrivant :

$$n = \frac{\left(\frac{A}{\sqrt{V}} - B\,V^2 - C\right)\left(1 - \frac{P \sin \alpha}{\frac{A}{\sqrt{V}} - B\,V^2 - C}\right)}{(0{,}0025\,p + EV^2)\left(1 + \frac{p \sin \alpha}{0{,}0025\,p + EV^2}\right)}.$$

Les 2 échelles fixes sont [*n*] et [V]. On a 3 échelles mobiles, 2 binaires (V, α), (V, *p*) et 1 ternaire (V, *p*, α), d'où 9 systèmes figuratifs cotés pour 4 variables, ce qui est excessif. On voit ici l'inconvénient signalé au n° **200** pour la méthode des polynômes.

Aussi, la règle à calcul de M. Vaes, dont on trouvera le dessin dans l'article déjà cité, et dont M. d'Ocagne a reproduit un fragment dans son *Traité*, est-elle d'une lecture difficile; elle ne peut d'ailleurs servir qu'à la détermination de la variable *n*. Notre abaque LXIII est d'une lecture beaucoup plus rapide, et peut servir à déterminer une quelconque des 4 variables quand on connaît les 3 autres.

207. — *Méthodes du colonel Langenskjöld et du capitaine Lafay pour les équations à 3 variables qui n'ont pas la forme canonique.* — On peut chercher à remplacer approximativement l'équation :

$$F_{123} = o, \tag{1}$$

par une équation de la forme :

$$f_1 + f_2 + f_3 = o, \tag{2}$$

dans le champ des variations usuelles de α_1, α_2, α_3. Cela revient à substituer à la portion utile de la surface (1) une portion de surface (2).

Telle est la méthode imaginée par le colonel Langenskjöld, pour construire des réglettes qui donnent rapidement, et avec une approximation bien suffisante, les éléments du tir courbe (1) : on détermine par quelques tâtonnements la forme d'une des 3 fonctions, f_1 par exemple, et l'on en déduit les 2 autres.

A ces tâtonnements, le capitaine Lafay (2) vient de substituer une méthode rationnelle, qui permet d'obtenir l'échelle f_1 correspondant à la surface de forme (2), qui se rapproche le plus de la surface (1) dans le champ envisagé. Comme il n'est fait aucune restriction sur la forme même de f_1, il est souvent possible d'utiliser la réglette en dehors des limites considérées, tout en conservant une approximation suffisante.

II. — Double translation.

208. — Considérons dans le plan deux droites fixes Ox, Oy (*fig.* 42) et une échelle mobile $[u_1]$, qui est parallèle à Oy et a les deux déplacements suivants :

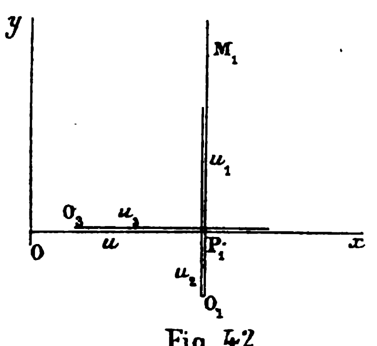


Fig. 42

L'abscisse OP_1 d'un quelconque de ses points M_1 est définie par la longueur $u_3 = O_3 P_1$ interceptée sur une échelle $[u_3]$, d'origine O_3, qui se déplace elle-même sur une échelle fixe $[u]$, à laquelle on peut donner par conséquent le point O pour origine.

L'ordonnée P_1M_1 est définie par la distance $O_1 M_1$ du point à l'origine O_1 de l'échelle $[u_1]$, et par la longueur $u_2 = O_1 P_1$ que l'axe des x intercepte sur une échelle $[u_2]$ invariablement accolée à $[u_1]$.

(1) *Artilleriiskii Journal*, avril 1900.

(2) *Revue d'Artillerie*, septembre 1901.

En prenant pour origine de $[u_2]$ le point O_1, on a donc pour les coordonnées de M_1 :

$$x = u + u_3,$$

$$y = u_1 - u_2.$$

Si, au lieu d'un tel système d'échelles mobiles $[u_1 u_2 u_3]$, on imagine 3 systèmes d'échelles mobiles analogues $[u_1\ u_2\ u_3]$, $[u_4\ u_5\ u_6]$, $[u_7\ u_8\ u_9]$ rapportés aux mêmes droites fixes Ox et Oy, l'alignement des points $M_1\,M_4\,M_7$ ainsi définis donne une représentation de l'équation :

$$\begin{vmatrix} [y] & [x] & [t] \\ u_1 - u_2 & u + u_3 & 1 \\ u_4 - u_5 & u + u_6 & 1 \\ u_7 - u_8 & u + u_9 & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

laquelle est indépendante de u, puisqu'on peut l'écrire :

$$\begin{vmatrix} [y] & [x] & [t] \\ u_1 - u_2 & u_3 & 1 \\ u_4 - u_5 & u_6 & 1 \\ u_7 - u_8 & u_9 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Si les échelles sont primaires, on a ainsi une équation à 9 variables; si elles sont binaires, on a une équation à 18 variables, etc.

De même, en considérant 4 systèmes, le double alignement parallèle des points $M_1\ M_4$, $M_7\ M_{10}$ donne un abaque de l'équation :

$$\begin{vmatrix} [y] & [x] & [z] & [t] \\ u_1 - u_2 & u_3 & 0 & 1 \\ u_4 - u_5 & u_6 & 0 & 1 \\ u_7 - u_8 & u_9 & d & 1 \\ u_{10} - u_{11} & u_{12} & d & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

à 12 variables si les échelles sont primaires, à 24 variables si les échelles sont binaires, etc.

Remarque. — Quand u_2 ne diffère de u_1 que par la substitution des variables α_{m_2}, α_{n_2}, α_{p_2} ... aux variables α_{m_1}, α_{n_1}, α_{p_1} ..., les

deux échelles sont identiques, et il y a lieu de n'en tracer qu'une seule, qui sert à la fois pour les points P_1 et M_1.

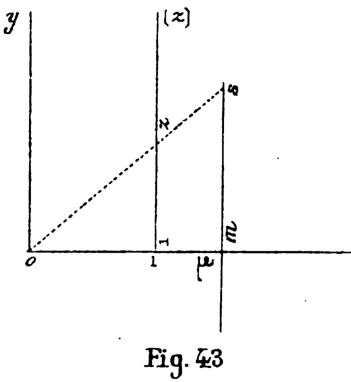


Fig. 43

209. — Exemple : ***Résolution des équations trinômes à exposants quelconques.*** — Soit l'équation :

$$s = mz^{\mu},$$

où z est l'inconnue. On peut l'écrire :

$$\log s - \log m - \mu \log z = 0,$$

qui donne immédiatement :

$$\begin{vmatrix} \log s - \log m & \mu \\ \log z & 1 \end{vmatrix} = 0,$$

d'où

$$\begin{vmatrix} \log s - \log m & \mu & 1 \\ \log z - \log 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

C'est une équation de la forme précédente, qu'on peut représenter *(fig. 43)* par l'abaque suivant. Soit une échelle régulière tracée sur Ox. Le point s de la première ligne est donné par une échelle logarithmique mobile qui passe par le point μ de Ox, sa cote m venant en μ. Le point z de la deuxième ligne est donné par une échelle logarithmique identique, mais fixe, qui passe par le point 1 de Ox, sa cote 1 étant en ce point 1. Le point de la troisième ligne est l'origine O. Par suite l'alignement Os donne la solution z.

Comme l'a remarqué M. d'Ocagne, cet exemple donne le principe de l'ingénieuse machine inventée par M. L. Torres (1) pour résoudre les équations trinômes à exposants quelconques. En effet, ces équations peuvent être ramenées à la forme :

$$mz^{\mu} \pm nz^{\nu} = 1.$$

Posons

$$s = mz^{\mu},$$

$$t = nz^{\nu}.$$

(1) M. d'Ocagne a analysé une autre machine très remarquable de M. Torres, qui donne non seulement les racines réelles, mais aussi les racines imaginaires des équations algébriques de degré quelconque (*Génie Civil*, 1898).

Traçons *(fig. 44)* une échelle régulière et, perpendiculairement à cette échelle régulière : 1° une échelle logarithmique fixe [z] dont la cote 1 est au point 1 de l'échelle régulière ; 2° deux échelles logarithmiques identiques à la précédente, mais susceptibles de deux déplacements, l'un de façon que ces échelles passent respectivement par les points μ et ν de l'échelle régulière, l'autre de façon que leurs cotes m et n viennent chacune en μ et en ν. Cela étant, pour avoir les solutions z, on fera pivoter une droite autour de O de façon à obtenir $s \pm t = 1$ suivant qu'on a le signe + ou le signe — dans la proposée. La position de la droite est facile à déterminer, à cause de la continuité des fonctions $s + t$ et $s - t$.

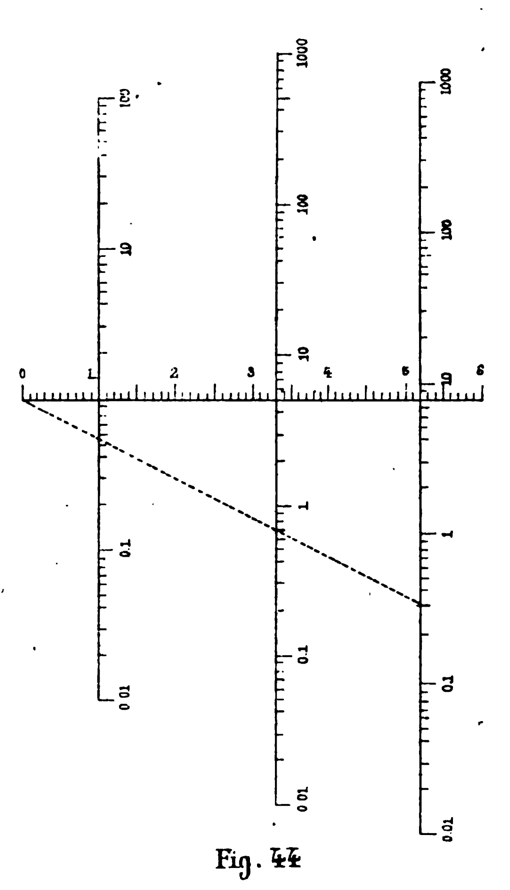


Fig. 44

La position des échelles mobiles de la figure 44 correspond au cas de l'équation :

$$5z^{3,3} + 8z^{5,2} = 1.$$

L'alignement donne $z = 0,55$.

Remarque. — Si l'on ne possède pas un appareil à échelles mobiles et qu'on ait à résoudre une équation trinôme à exposants quelconques, on opérera rapidement comme suit :

Porter sur une droite, à partir d'un point O, des longueurs l, $l\mu$, $l\nu$, le module l étant choisi suivant la précision qu'on désire ; par ces points faire passer 3 droites parallèles D_l D_μ D_ν ; construire exactement sur le bord d'une feuille de papier l'échelle

logarithmique [L] entre 1 et 10, à une grandeur suffisante, puis la placer sur les droites D_μ et D_ν de façon que les cotes $10^\alpha m$, $10^\alpha n$, comprises entre 1 et 10, coïncident avec les points l_μ et l_ν; d'après ces positions, marquer les cotes 1 et 10, puis les cotes 100, 1 000 ..., 0,1, 0,01 ... en portant la longueur de l'échelle [L] à droite et à gauche des points 1 des 3 échelles D, D_μ, D_ν; déterminer, par la continuité de $s \pm t$, quelles sont les régions des échelles D_μ et D_ν que doit traverser l'index pour qu'on ait $s \pm t = 1$; reporter la graduation de [L] dans ces deux régions seulement, et tracer alors exactement la position de l'index.

III. — Échelles tournantes.

210. — Soient *(fig. 45)* une échelle rectiligne $[\alpha]$

$$x' = lf(\alpha),$$

tournant autour du point O, et une échelle fixe quelconque $[\beta]$ rencontrée par Ox' au point variable M, de coordonnées polaires $lf(\alpha)$ et ω par rapport à un axe Ox. Imaginons un faisceau de perpendiculaires à cet axe qui passent par les points M. Ce faisceau détermine sur Ox des longueurs:

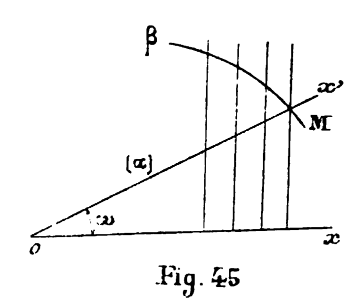


Fig. 45

$$x = lf(\alpha) \cos \omega.$$

Or $\cos \omega$ est une certaine fonction de β

$$\cos \omega = \varphi(\beta).$$

Donc l'échelle mobile $[\alpha]$ et l'échelle fixe $[\beta]$, auxquelles on adjoint le réseau auxiliaire de parallèles, déterminent sur Ox la nouvelle échelle binaire :

$$x = lf(\alpha)\, \varphi(\beta),$$

imaginée par M. Lallemand.

Nous avons déjà donné d'autres modes de représentation de ces échelles. Nous ne nous y arrêterons donc pas davantage. Ce qui précède suffit à montrer l'esprit des méthodes de généralisation par échelles mobiles.

SYSTÈMES D'ÉQUATIONS

211. — Les principes généraux exposés aux nos **150** et suivants s'appliquent intégralement à la recherche des abaques d'un système de n équations à $n+p$ variables, dont p arbitraires. En effet, nous avons alors décomposé la proposée en un certain nombre d'équations:

$$\Phi = 0,$$
$$\varphi = 0,$$
$$\varphi' = 0,$$
$$\cdots$$

dans lesquelles entrent des variables auxiliaires α, α', α'' ... Un système d'équations proprement dit n'en diffère qu'en ce que α, α', α'' ..., au lieu d'être des variables auxiliaires, sont des variables réelles.

D'après ce qu'on a vu, il est nécessaire, tout au moins pour les n inconnues habituelles, que chaque variable ait un seul système figuratif sur l'abaque général. Les variables qui ont deux systèmes figuratifs pourraient, à la rigueur, se déterminer par tâtonnements, qu'on arrive à diriger rationnellement si les systèmes figuratifs sont des courbes cotées. Avec plus de trois systèmes, les tâtonnements deviennent inextricables.

On cherchera donc à représenter les diverses équations avec des systèmes figuratifs identiques pour le plus grand nombre possible de variables constituant les inconnues habituelles, et on superposera ces abaques.

I. — Système de deux équations.

212. — Soit un système de deux équations:

$$F = 0,$$
$$\Phi = 0,$$

ayant m variables. Pour la précision du raisonnement, supposons d'abord que les deux inconnues à déterminer, quand on se donne

$m-2$ variables, soient constamment les mêmes, α_1 et α_2 par exemple, ce qui n'a pas toujours lieu dans la pratique.

Trois cas peuvent se présenter :

1° α_1 n'entre que dans la première équation, α_2 n'entre que dans la seconde. Alors la superposition n'est pas nécessaire, et l'on construira l'abaque de chaque équation, avec ou sans systèmes communs (α_i), (α_j) ..., en s'inquiétant seulement d'obtenir des représentations simples;

2° α_1 entre dans les deux équations, et α_2 n'entre que dans la seconde. Il faut, si cela est possible, donner aux deux abaques même système figuratif (α_1), et les *accoler* par ce système ;

3° α_1 et α_2 entrent dans chacune des équations. Alors il faut, si cela est possible, donner aux deux abaques mêmes systèmes figuratifs (α_1) et (α_2), et *superposer* ces systèmes.

213. — L'accolement par un système ou la superposition de deux systèmes sont toujours possibles quand $F=0$, et $\Phi=0$ sont des équations à 3 variables, puisqu'on peut dans ce cas les représenter par des abaques à entrecroisement dans lesquels 2 systèmes sont arbitraires. Mais alors on ne dispose plus du troisième système, et il n'est pas toujours possible de parvenir à des abaques à *courbes cotées*, surtout s'il y a lieu d'opérer une superposition. Il faut alors se contenter d'abaques à entrecroisement.

214. — EXEMPLES : *1° Conduites d'eau.* — Les formules de Prony, Dupuit, Darcy et Flamant, longtemps employées, sont devenues insuffisantes depuis que les diamètres des conduites ont été portés à plus de 1,50 *m*. M. Maurice Lévy a établi, depuis longtemps déjà (1), des formules en vue d'une application plus large, formules qui sont aujourd'hui l'objet d'une préférence marquée. Ce sont les suivantes, pour les conduites chargées de dépôts :

$$\left(\frac{U}{20,5}\right)^2 = RI(1+3\sqrt{R})$$

$$Q = \pi R^2 U,$$

où R désigne le rayon des tuyaux, I la pente par mètre, U la vitesse moyenne. On a donc un système de 2 équations contenant chacune 3 variables.

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1867.

1° Si les inconnues sont I et Q, on pourra construire deux abaques distincts; par exemple, pour la première équation, un abaque à alignement dans lequel [U] et [I] seront des droites, [R] une courbe; pour la deuxième équation, un abaque à alignement dans lequel [Q], [R] et [U] seront des droites; il y aura intérêt, bien que cela ne soit pas nécessaire, à accoler les deux abaques par l'échelle [U], afin de diminuer le nombre des systèmes figuratifs;

2° Si les inconnues sont I et U, ou I et R, ou Q et R, — groupements où la première variable n'entre que dans une équation, tandis que la dernière entre dans les deux équations, — on pourra toujours accoler les systèmes figuratifs de la variable commune. Si cette variable est U, on recourra à des abaques à alignement; si cette variable est R, cela sera impossible, et il faudra prendre des abaques à entrecroisement, en constituant, par exemple, le réseau R par les droites:

$$x = l\mathrm{R};$$

3° Si les inconnues sont U et R, qui entrent dans les deux systèmes, la superposition n'est possible qu'avec des abaques à entrecroisement; tel l'abaque ayant pour réseaux:

$$\mathrm{U} = \frac{l}{x}, \qquad \text{(U)}$$

$$\mathrm{R}^2 = l'y, \qquad \text{(R)}$$

d'où :

$$\mathrm{Q}x = ll'y \qquad \text{(Q)}$$

et

$$\left(\frac{l}{20{,}5x}\right)^2 = \sqrt{l'y}\,\mathrm{I}(1 + 3\sqrt[4]{l'y}), \qquad \text{(I)}$$

ce qui donne 3 réseaux rectilignes, et 1 réseau curviligne.

Seul, ce dernier genre d'abaque permet de résoudre le cas général, où les 2 inconnues à déterminer sont 2 quelconques des 4 variables U,R,I,Q.

Nous ne construirons pas cet abaque, en raison d'une simplification introduite par notre Collègue M. H. Vallot dans les formules de M. Maurice Lévy, simplification qui permet de les représenter par un abaque extrêmement simple, que nous donnerons plus loin **(217)**.

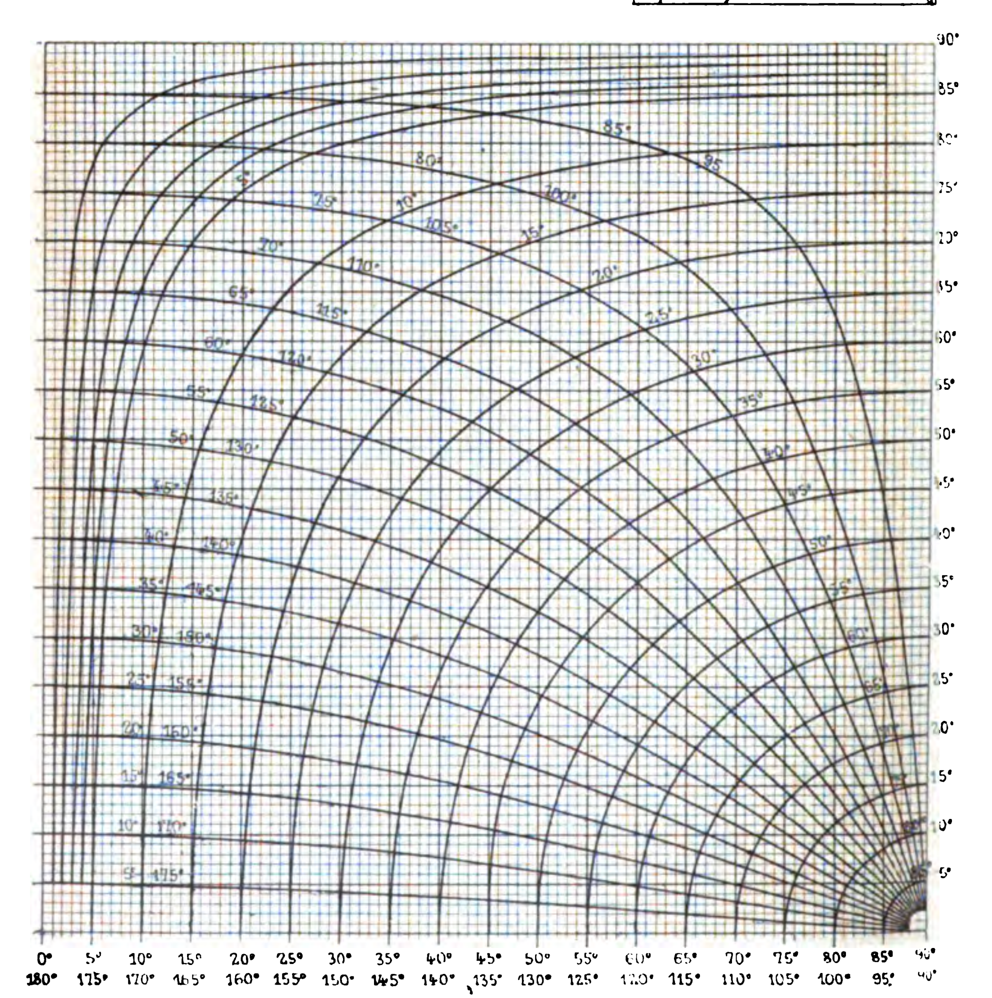
215. — *2° Résolution des triangles sphériques rectangles. Point à la mer (Abaque LXXI).* — Voici un élégant exemple de superposition de deux systèmes figuratifs.

POINT A LA MER

Cle

AH δ λ A z

Données:		Inconnues :	
AH	Angle horaire.	A	Azimut
δ	Distance polaire	z	Distance zénithale.
λ	Colatitude.		



ABAQUE LXXI *Favé et Rollet de l'Isle*

Dans un triangle sphérique ABC, rectangle en C, on a :

$$\cos a \cos A = \cos b,$$

$$\operatorname{cotg} a \sin A = \operatorname{cotg} c.$$

Pour pouvoir déterminer 2 quelconques des quantités a,b,c,A connaissant les 2 autres, il est nécessaire de superposer les systèmes figuratifs de a et ceux de A, ce qui est bien facile en prenant :

$$x = la$$

$$y = lA,$$

d'où :

$$\cos \frac{x}{l} \cos \frac{y}{l} = \cos b$$

$$\operatorname{cotg} \frac{x}{l} \sin \frac{y}{l} = \operatorname{cotg} c.$$

C'est à cette décomposition qu'ont eu recours MM. Favé et Rollet de l'Isle pour déterminer le point à la mer par la hauteur d'un astre A (1).

Considérons (*fig. 46*) le triangle PZA, pôle-zénith-astre ; on connaît PA $= \delta$, PZ $= \lambda$, ZPA $= \mathcal{A}\!H$, distance polaire, colatitude et angle horaire ; les inconnues sont ZA $= z$, EZA $= \zeta$, distance zénithale et azimut. Suivant la méthode de Towson, menons le grand cercle AB qui passe par A et qui est perpendiculaire au méridien du lieu, puis résolvons successivement les deux triangles APB, AZB, rectangles en B. Dans le triangle APB on connaît les deux côtés δ et $\mathcal{A}\!H$ représentés par les réseaux curvilignes ; l'ordonnée du point (δ, $\mathcal{A}\!H$) de l'abaque donne donc le côté PB. D'autre part, dans le triangle AZB, on a ZB $=$ PB $- \lambda$; il suffit donc de descendre sur l'ordonnée (δ, $\mathcal{A}\!H$) de la longueur λ pour obtenir le point (z, ζ) qui donne les deux inconnues.

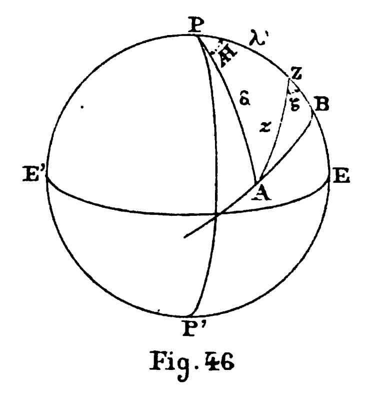


Fig. 46

On n'a pas à lire la valeur du côté AB commun aux deux triangles, valeur qui est donnée par la graduation de l'axe Ox ;

(1) *Annales hydrographiques*, 1892.

on pourrait donc supprimer cette graduation dans l'abaque du point à la mer. Mais il est intéressant de la maintenir en vue de l'utilisation de cet abaque pour d'autres problèmes de trigonométrie sphérique.

216. — Nous avons dit que, sauf cas particuliers, la superposition d'abaques à courbes cotées n'est généralement pas possible.

Parmi ces cas particuliers, signalons le système d'équations de la forme canonique :

$$f_1^{\alpha_1} f_2^{\alpha_2} f_3^{\alpha_3} = 1,$$

$$f_1^{\beta_1} f_2^{\beta_2} f_4^{\beta_4} = 1.$$

L'anamorphose logarithmique donne :

$$\alpha_1\varphi_1 + \alpha_2\varphi_2 + \alpha_3\varphi_3 = 0,$$

$$\beta_1\varphi_1 + \beta_2\varphi_2 + \beta_4\varphi_4 = 0.$$

Chacune de ces équations peut se représenter par un abaque à échelles parallèles dans lequel les deux échelles φ_1 et φ_2 sont arbitraires (**59**) ; on peut donc les superposer.

217. — Exemple : *Conduites d'eau (Abaque LXXII).* — Reprenons le système d'équations de M. Maurice Lévy (**214**). L'élimination de U entre ces formules donne une expression binôme. M. H. Vallot (1) a cherché une expression monôme équivalente et s'est arrêté à :

$$R = 0{,}162\, Q^{\frac{3}{8}} I^{\frac{3}{16}}$$

qui donne des rayons très légèrement supérieurs à ceux de la formule exacte.

Cette équation, jointe à

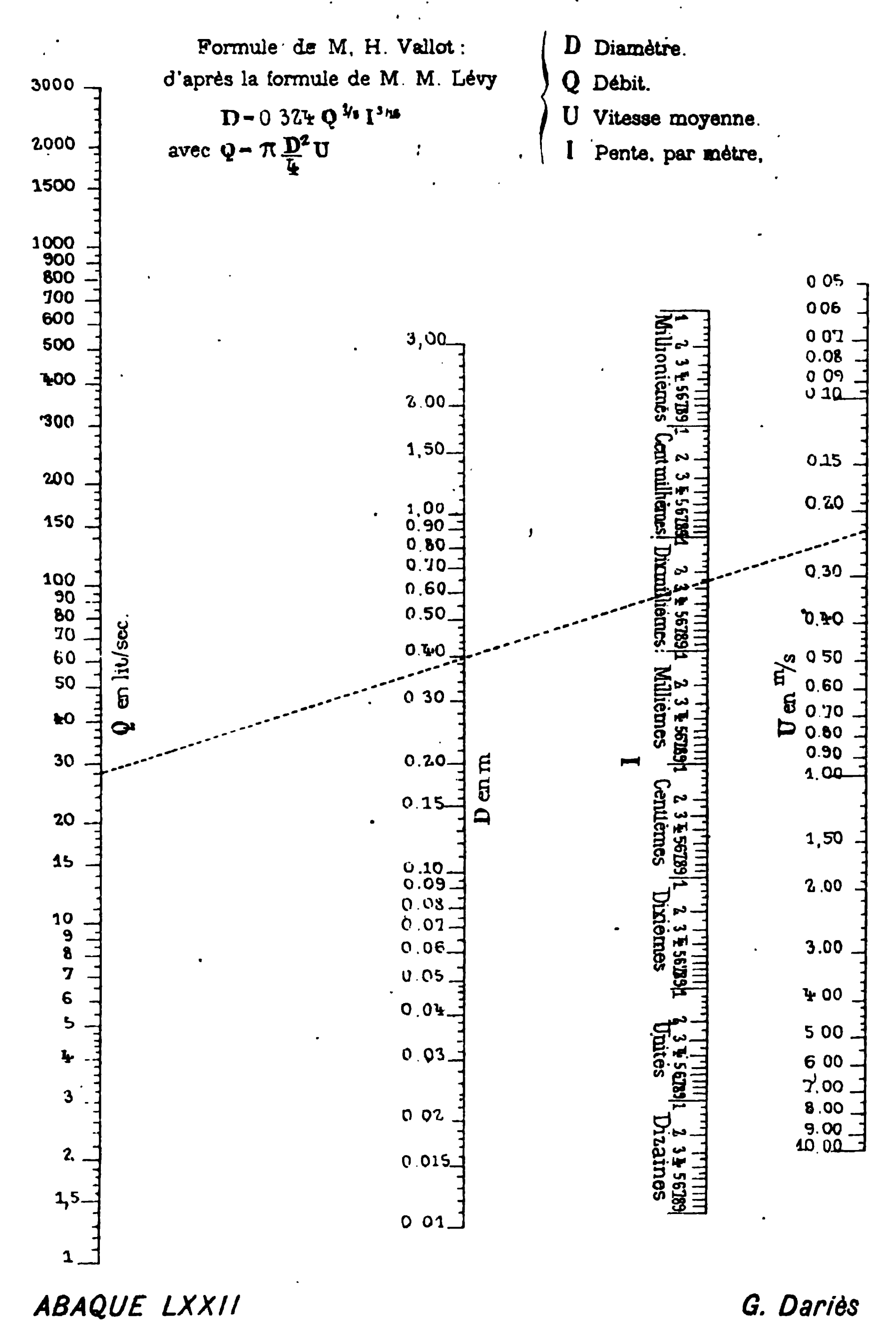
$$Q = \pi R^2 U,$$

forme un système dont on obtient facilement un abaque à 4 échelles parallèles ; tel est celui construit par M. Dariès (2), où l'échelle R est cotée en diamètres du tuyau, suivant l'usage commercial.

(1) *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France*, 1887.

(2) *Nouvelles Annales de la Construction*, 1897.

CONDUITES D'EAU



ABAQUE LXXII

G. Dariès

On opérera commodément comme suit : ayant construit l'abaque d'une des deux équations, la première par exemple, on déterminera un point de l'échelle U à l'aide de deux solutions $(U_1Q_1D_1)$, $(U_1Q_2D_2)$ de la deuxième; les alignements Q_1D_1, Q_2D_2 donneront donc le point coté U_1 ; connaissant ainsi le support de l'échelle [U], un point coté, le sens de la graduation et le module de l'échelle, on tracera [U] sans difficulté.

II. — Système de plusieurs équations.

218. — Soit un système de n équations à $(n+p)$ variables. Supposons leurs abaques construits. Si un certain nombre d'entre eux contiennent une seule des n inconnues, on déterminera ces inconnues; de la sorte, d'autres abaques à plusieurs inconnues n'en contiendront plus qu'une; on pourra donc déterminer de nouvelles inconnues, et ainsi de suite. C'est, du reste, la série d'opérations qu'on effectuerait pour la résolution algébrique du système.

Mais, généralement, on arrive néanmoins ainsi à K abaques qui contiennent irréductiblement plusieurs des K inconnues restantes, qu'on ne saurait isoler : alors, le plus souvent, la solution graphique impose des tâtonnements qui la rendent inutilisable.

En groupant quelques équations par 2, on pourra accoupler ou superposer un certain nombre de systèmes figuratifs, notamment si ces équations ont la forme canonique. Mais il est bien clair que la superposition totale n'est possible que dans des cas très particuliers.

219. — *Système d'équations du commandant Bertrand. Application aux distributions d'eau (Abaque LXXIII).* — Parmi ces cas, signalons le système :

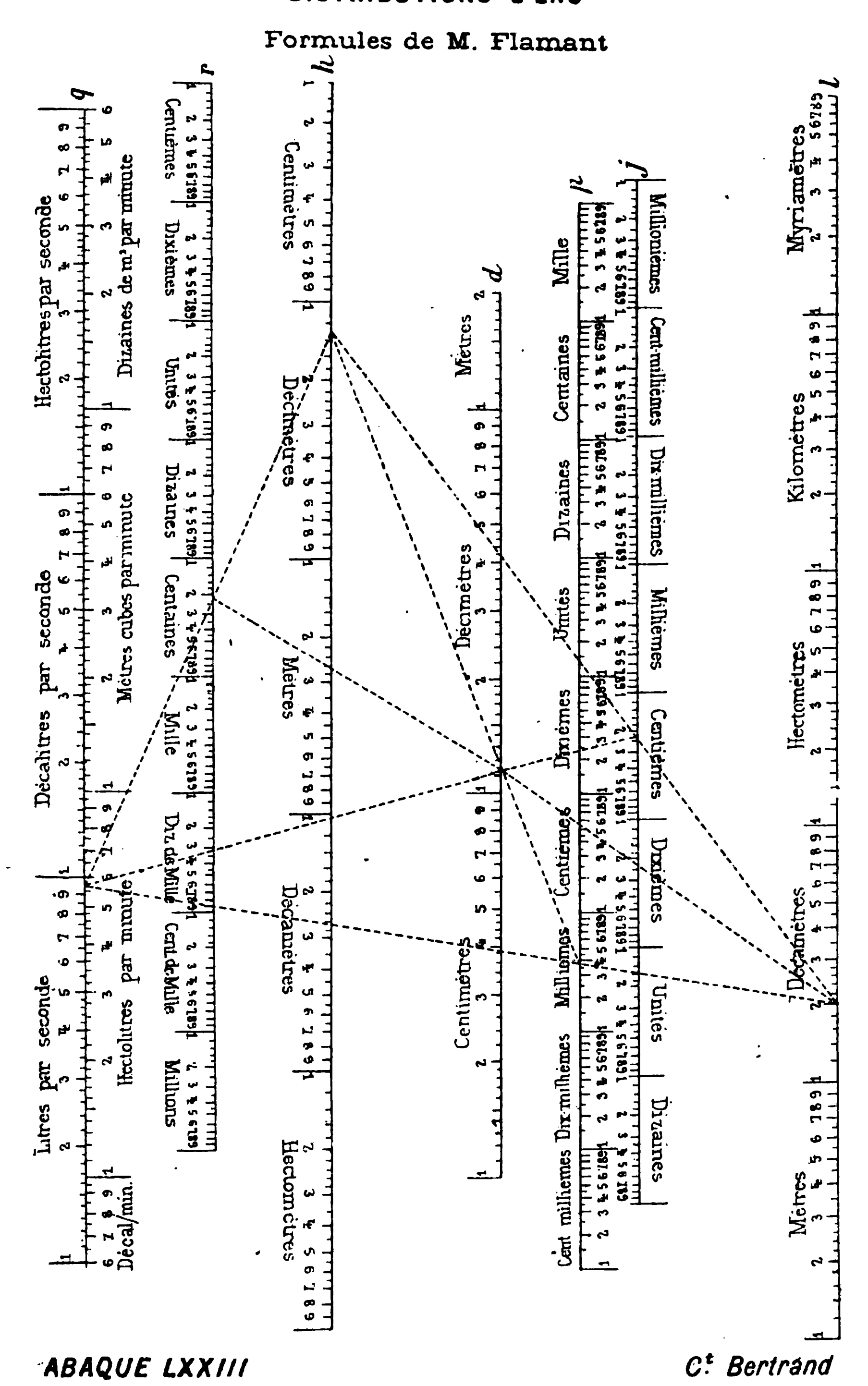
$$f_1 + f_2 = f_4,$$
$$f_2 + f_3 = f_5,$$
$$f_3 + f_1 = f_6,$$
$$f_1 + f_2 + f_3 = f_7,$$

résolu d'une façon élégante par le commandant Bertrand (1). Posons, pour la symétrie, $f_4 = f_{12}$, $f_5 = f_{23}$, $f_6 = f_{31}$, $f_7 = f_{123}$. Les

(1) *Revue du Génie militaire*, 1894.

DISTRIBUTIONS D'EAU

Formules de M. Flamant



ABAQUE LXXIII — *C^t Bertrand*

3 premieres équations peuvent se représenter *(fig. 47)* par les 6 échelles parallèles :

$$u_1 = l_1 f_1 \qquad u_{12} = l_{12} f_{12}$$

$$u_2 = l_2 f_2 \qquad u_{23} = l_{23} f_{23} \qquad \text{avec :} \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{l_{12}} = \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} \\ \frac{1}{l_{23}} = \frac{1}{l_2} + \frac{1}{l_3} \\ \frac{1}{l_{31}} = \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l_1} \end{array} \right.$$

$$u_3 = l_3 f_3 \qquad u_{31} = l_{31} f_{31}$$

Les points $a_1 a_2 a_3$, $a_{12} a_{23} a_{31}$, disposés sur le triangle $a_1 a_2 a_3$, constituent une solution de ces équations. La position des échelles est d'ailleurs définie par les relations :

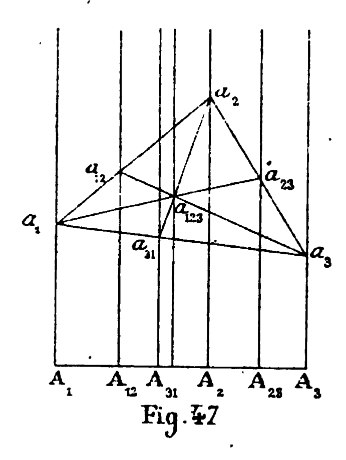


Fig. 47

$$\frac{A_{12}A_1}{A_{12}A_2} = -\frac{l_1}{l_2} \qquad \frac{A_{23}A_2}{A_{23}A_3} = -\frac{l_2}{l_3}. \qquad \frac{A_{31}A_3}{A_{31}A_1} = -\frac{l_3}{l_1}.$$

Pour représenter la 4e équation, remarquons qu'on peut l'écrire :

$$f_1 + f_{23} = f_{123}.$$

La solution a_{123} correspond donc aux valeurs $a_1 a_{23}$, et se trouve par suite sur la ligne $a_1 a_{23}$; d'ailleurs on a :

$$\frac{1}{l_{123}} = \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_{23}} = \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} + \frac{1}{l_3}.$$

On démontrerait de même que a_{123} se trouve sur les droites $a_2 a_{31}$, $a_3 a_{12}$. L'échelle u_{123} est donc définie en grandeur et en position.

Le commandant Bertrand a appliqué cette méthode à la construction d'un abaque des formules de M. Flamant; l'anamorphose logarithmique donne :

$$\frac{7}{4} \log q - \log h = - \log r$$

$$- \log h + \log l = - \log j$$

$$\log l + \frac{7}{4} \log q = \log p$$

$$\frac{7}{4} \log q - \log h + \log l = \frac{19}{4} \log d - \mathrm{K},$$

q étant le débit de la conduite, h la perte de charge, l la longueur, r la résistance, j la pente de la ligne de charge, p la puissance de la conduite, d son diamètre.

Bien qu'on n'emploie plus guère les formules de M. Flamant, nous donnons une réduction de cet abaque, intéressant au point de vue nomographique. Mais nous avons supprimé diverses échelles qui s'accolent facilement aux 7 échelles ci-dessus; telle est, par exemple, celle qui donne la vitesse u, et qu'on peut accoler aux échelles [q] et [d], comme dans l'abaque de M. Dariès.

RECHERCHE DES LOIS

220. — Les Chapitres qui précèdent ont eu pour but l'étude des abaques susceptibles de représenter une *équation donnée* $F_{12\ldots n} = 0$.

On conçoit que, inversement, la connaissance d'un abaque, construit à l'aide de données expérimentales, puisse amener, dans certains cas, à trouver la relation $F_{12\ldots n} = 0$ qui lie ces données, et, conséquemment, à découvrir une loi exacte ou une loi empirique du phénomène envisagé.

C'est ce qu'on fait couramment quand il ne s'agit que de 2 variables : sur une feuille quadrillée on porte l'une d'elles en abscisses, l'autre en ordonnées, et l'on cherche l'équation $f(xy) = 0$ de la courbe ainsi obtenue.

Grâce aux méthodes du simple et du double alignement, la Nomographie peut permettre parfois de découvrir la loi de phénomènes qui dépendent de plusieurs variables. A cet effet, il convient tout d'abord de chercher à traduire les données expérimentales par un abaque composé de réseaux de droites (D)(D')....., ; cela étant, on transformera chacune de ces droites en un point P par la méthode du n° **40**.

Si les droites d'un réseau (D) sont distribuées dans le plan suivant une certaine loi, les points P seront sur une courbe continue [*c*]. Ainsi donc, tandis qu'il est très malaisé, sinon impossible, de découvrir directement la loi de distribution des droites, la loi de distribution des points est évidente, et, pour la mettre sous forme explicite, il suffit de trouver l'équation de la courbe qu'ils déterminent.

Si les droites du réseau (D) sont cotées, la courbe [*c*] le sera aussi, de sorte qu'on pourra découvrir, non seulement la forme générale de la loi d'après l'équation de la courbe [*c*], mais encore son expression numérique.

On voit donc toute l'importance qui paraît réservée à cette méthode. Aussi, avant d'aborder son application à la recherche des lois, croyons-nous utile de donner un nouvel exemple de la transformation des droites en points, sur un abaque beaucoup plus compliqué que celui du n° **41**.

221. — *Maximum des efforts tranchants dans les poutres à une travée. (Abaques LXXIV et LXXV.)* — Dans deux études très remarquables (1), notre Collègue M. Duplaix a développé une ingénieuse méthode pour construire les abaques des plus grands efforts tranchants T et des plus grands moments de flexion M dans les diverses sections des poutres à une travée. Il a montré que, sauf dans deux régions (qui n'occupent d'ailleurs qu'une petite partie de l'abaque), le plus grand effort tranchant pour les trains-types se produit quand la charge de tête est à l'aplomb de la section, le convoi étant du côté de l'appui le plus éloigné.

Soient *(fig. 48)* : x la distance de la section au point d'appui le

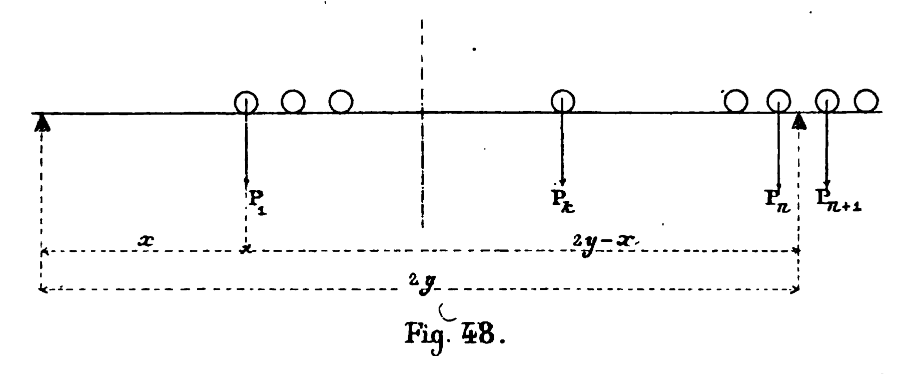


Fig. 48.

plus voisin, y la demi-portée de la poutre, T le plus grand effort tranchant, P_k l'intensité de la K^e^ charge, a_k sa distance à la charge de tête. Prenons, avec M. Duplaix, le cas du train-type pour voie de largeur normale, circulant sur des poutres ayant jusqu'à 80 *m* de portée : la distance entre les charges extrêmes, soit 82,50 *m*, est toujours supérieure à la longueur $2y - x$ de la partie du pont qui porte le convoi.

Considérons des valeurs de x, y telles que :

$$a_n < 2y - x < a_{n+1}. \qquad (1)$$

Il y a alors n charges engagées, et, d'après ce qui a été dit, le plus grand effort tranchant (sauf dans les deux régions signalées) est donné par la relation :

$$2Ty = (2y - x)\,\Sigma a_n - \Sigma a_n P_n. \qquad (2)$$

(1) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France* (février 1896) et *Abaques des efforts tranchants et des moments de flexion développés dans les poutres à une travée par les surcharges du Règlement du 29 août 1891* (Carré et Naud, 1899).

Cette équation, rapportée à des axes ox, oy (*fig. 49*), peut se représenter par des lignes de niveau (T) ; comme elle est linéaire en x, y, T, ces lignes sont des droites qui concourent au point G_n :

$$y = o,$$
$$x = -\frac{\Sigma a_n P_n}{\Sigma a_n}.$$

OG_n est donc égale à la distance du centre de gravité des n charges engagées à la charge de tête.

D'ailleurs, en vertu de la relation (1), la partie utile de ce

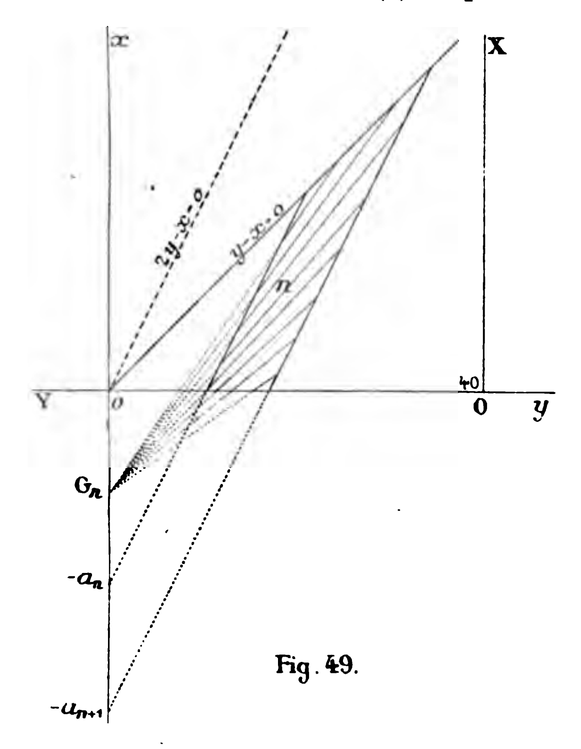


Fig. 49.

réseau est comprise entre deux parallèles à la direction fixe $2y = x$, qui coupent Ox aux points $-a_n$ et $-a_{n+1}$. Comme le train-type doit circuler indifféremment dans l'un ou l'autre sens, on peut évidemment limiter ces parties utiles à la droite $y = x$.

En construisant de semblables réseaux dans les diverses régions $i, j, k \ldots (n-1)$, n, $(n+1)\ldots$ qui correspondent au nombre de véhicules engagés, M. Duplaix a obtenu un abaque dont LXXIV reproduit une partie à plus petite échelle.

Transformons les réseaux de cet abaque, en prenant pour axes

de transformation les droites $x = o$, $y = 40$ (OX et OY sur la figure 49).

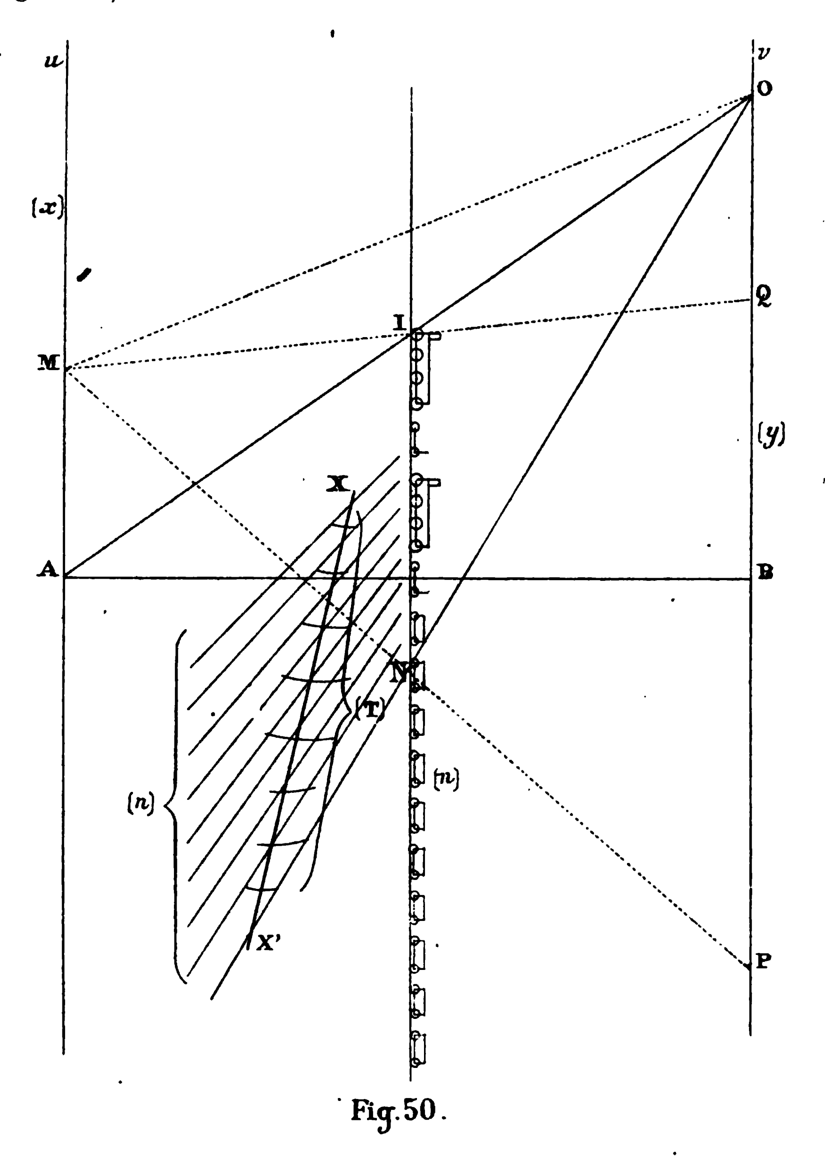
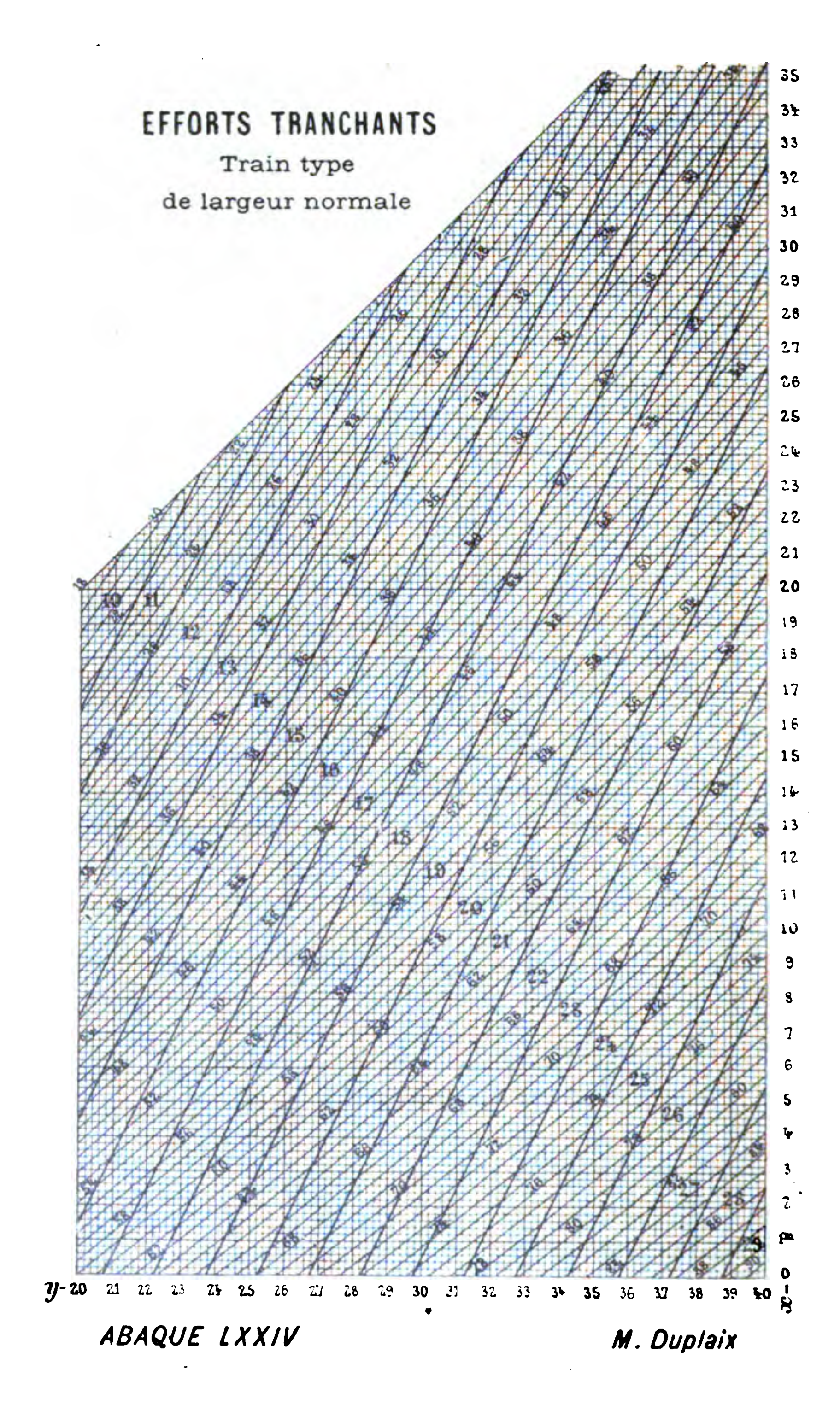


Fig. 50.

Les réseaux de parallèles aux axes de coordonnées deviennent Au, Bv *(fig. 50)*, avec :

$$u = x,$$
$$v = 2(40 - y).$$


EFFORTS TRANCHANTS
Train type
de largeur normale
y-20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
ABAQUE LXXIV
M. Duplaix

EFFORTS TRANCHANTS

Train-type de largeur normale

x: 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10, 5, 0

T: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90

n: 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29

p: 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80

ABAQUE LXXV *R Soreau*

Le réseau des parallèles à $2y = x$, qui limitent les régions, se transforme en une droite $[n]$, à égale distance de Au, Bv, et l'alignement de deux cotes x, y donne sur cette droite la valeur correspondante de n. Ce résultat était évident *à priori*.

En effet, soient MPN un alignement quelconque, et AOI l'alignement fixe correspondant aux cotes $x = 0$, $y = 0$. Joignons MI;

on a : $$2IN = QP = OP - AM = 2y - x,$$

d'où : $$IN = \frac{2y - x}{2}.$$

On peut donc représenter le train-type sur IN, la charge de tête étant au point fixe I, et l'appui le plus éloigné de la section étant au point mobile N, à une distance proportionnelle à $2y - x$.

Chaque réseau de droites cotées (T_n) de la région n donne une droite cotée n qui est la transformée du point de concours G_n, et qui, par suite, passe en O. On obtient ainsi un réseau de radiantes (n), dont chacune porte des cotes T. Joignons les points de même cote : nous avons ainsi un réseau (T).

Donc, à l'abaque LXXV nous substituons ainsi un abaque formé de 3 droites $[x]$, $[y]$, $[n]$ et de 2 réseaux (n), (T). Son emploi est le suivant :

Prendre l'alignement xy (*fig. 50*), lire la valeur de n sur $[n]$, et considérer la droite correspondante du réseau (n); la courbe T qui passe par l'intersection de cette droite et de xy donne la valeur cherchée.

Un tel abaque est presque aussi chargé que celui de M. Duplaix, et sa lecture est moins rapide. La transformation qui vient d'être faite ne pourrait donc être considérée que comme un exercice si l'on devait employer cet abaque comme il vient d'être dit.

Mais, quand on le construit, on s'aperçoit que les portions utiles des courbes T sont de très faible longueur (voir *fig. 50*), de sorte qu'on peut les remplacer, avec une approximation parfaitement suffisante, par une droite telle que XX', qu'on cote d'après ses intersections avec les courbes T. On obtient ainsi l'abaque LXXV, où l'alignement xy donne de suite T et n. Sur cet abaque nous avons gradué l'échelle $[y]$ en portées.

Remarque. — Dans le train-type considéré, les écartements entre les charges sont égaux à partir de la 13ᵉ, qui est celle de l'essieu avant du premier wagon. On peut donc exprimer algé-

briquement l'échelle $[n]$ à partir de $n = 13$. D'autre part, on voit sur l'abaque LXXV que, dans la même région, l'échelle T est régulière. Il serait donc facile, en cherchant l'équation de cette échelle d'après l'abaque, de substituer à l'équation (2), à *coefficients variables*, une équation à *coefficients fixes* qui donnerait approximativement T en fonction de x et de y, toutes les fois qu'on aurait $2y - x > a_{13}$, c'est-à-dire $> 29{,}50\ m$.

On arrive, d'ailleurs, à un résultat analogue, sans passer par l'abaque, en remarquant que, pour $n > 13$, l'équation (2) peut s'écrire, eu égard aux constantes du train-type :

$$\begin{aligned} 2Ty &= [84 + 4(n - 13)](2y - x) \\ &- [1057{,}6 + 118(n - 13) + 6(n - 12)(n - 13)]. \end{aligned}$$

D'autre part on a :

$$29{,}5 + 3(n - 13) < 2y - x < 29{,}5 + 3(n + 1 - 13).$$

On peut donc prendre les valeurs moyennes :

$$(n - 13)(n - 12) = \left(\frac{2y - x - 29{,}5}{3}\right)^2,$$

et

$$n - 13 = \frac{2y - x - 31}{3}.$$

En substituant dans la première équation, on obtient une expression :

$$2Ty = A + B(2y - x) + C(2y - x)^2,$$

où A, B et C sont des coefficients numériques.

222. — *Probabilité d'une relation entre le coefficient de la chaleur spécifique d'électricité des métaux et leur point neutre (Abaques LXXVI, LXXVII et LXXVIII).* — On sait que, d'après M. Tait, la chaleur spécifique d'électricité d'un métal est proportionnelle à la température absolue T :

$$c = KT,$$

K étant un coefficient propre au métal considéré. Le pouvoir thermo-électrique θ du couple formé par ce métal et le plomb, pour lequel $K = 0$, a pour valeur :

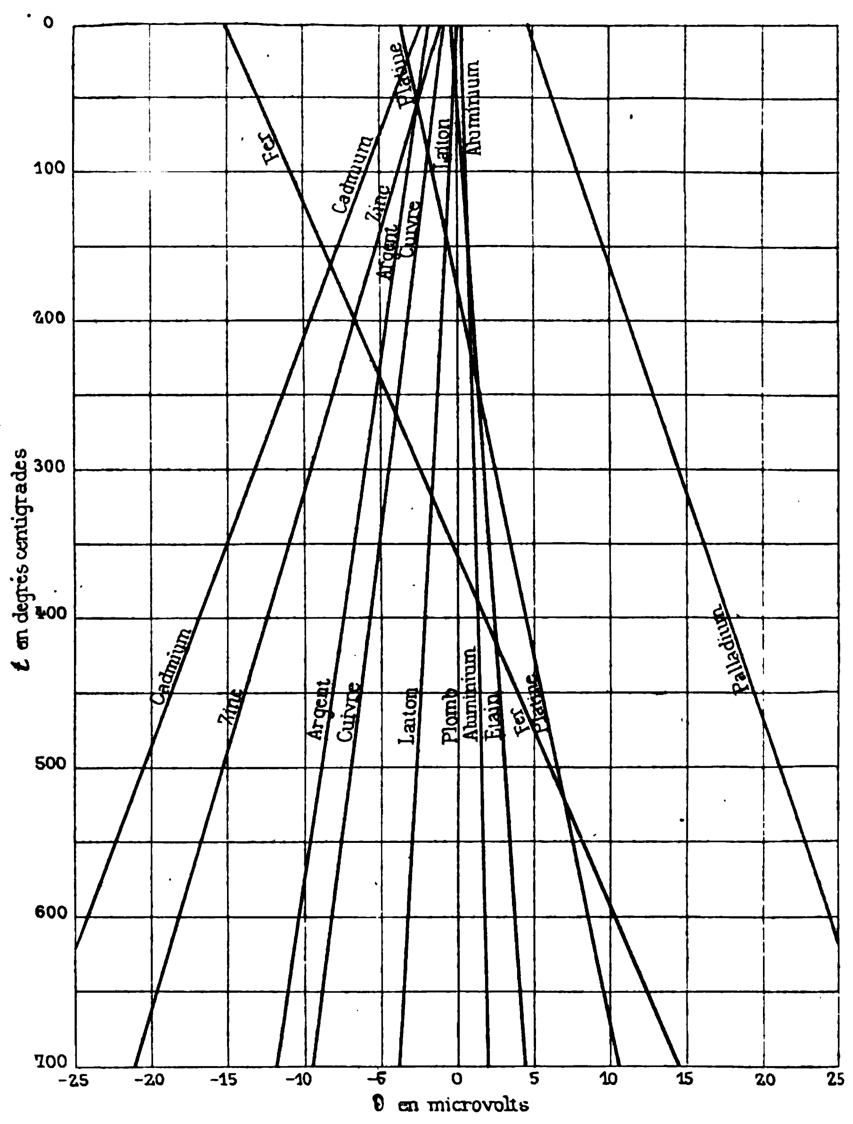
$$\begin{aligned} \theta &= K(T_n - T), \\ &= K(t_n - t); \end{aligned}$$

t_n est le point neutre.

POUVOIRS THERMO-ÉLECTRIQUES

Formule :
$\theta = K(t_n - t)$

- θ Pouvoir thermo-électrique par rapport au plomb
- t Température
- K et t_n, caractéristiques du métal



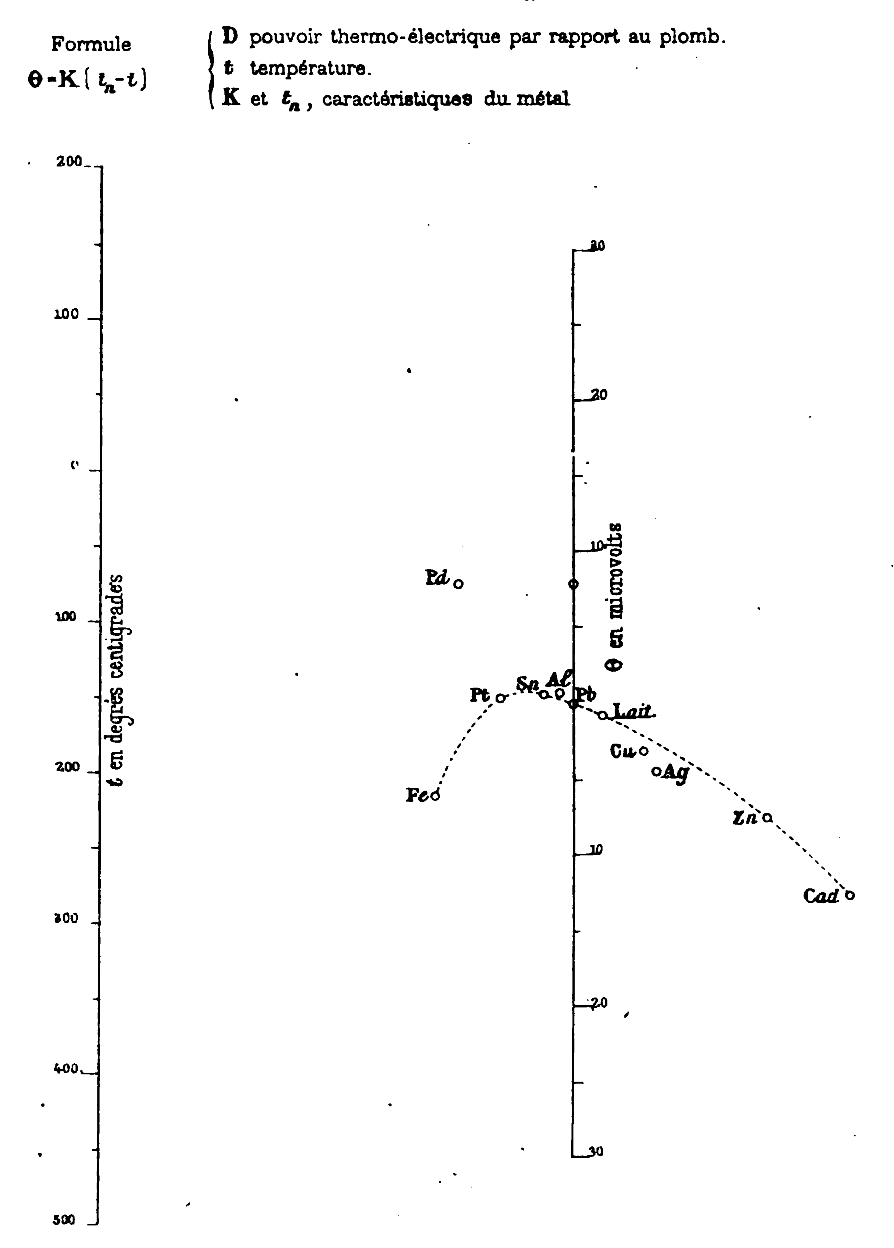
ABAQUE LXXVI

Tait

POUVOIRS THERMO-ÉLECTRIQUES

Formule $\Theta = K(t_n - t)$

- D pouvoir thermo-électrique par rapport au plomb.
- t température.
- K et t_n, caractéristiques du métal



ABAQUE LXXVII *R. Soreau*

Si l'on porte θ en abscisses, t en ordonnées, on obtient une série de droites (K), caractéristiques de chaque métal. Tel est l'abaque LXXVI, bien connu sous le nom de diagramme de Tait.

Nous nous sommes demandé si les droites K sont distribuées d'une façon quelconque dans le plan, ou suivant une loi. Pour le voir, nous avons appliqué au diagramme de Tait la transformation des droites en points, d'où l'abaque LXXVII, où l'on constate aisément que, sauf pour le palladium, les points figuratifs des métaux considérés se répartissent très sensiblement suivant une courbe. Nous pouvons en conclure tout au moins qu'il existe une relation *approchée* $f(x,y) = 0$ commune aux points figuratifs de la plupart des métaux.

Or l'équation :

$$\theta = K(t_n - t),$$

peut s'écrire :

$$\begin{vmatrix} \theta & 0 & 1 \\ t & 1 & 1 \\ Kt_n & K & 1 + K \end{vmatrix} = 0.$$

Donc, en prenant comme axe des x la droite qui joint les points $\theta = 0$, $t = 0$, comme axe des y la droite [θ], et comme échelle [t] une droite parallèle à Oy et à la distance 1, on a :

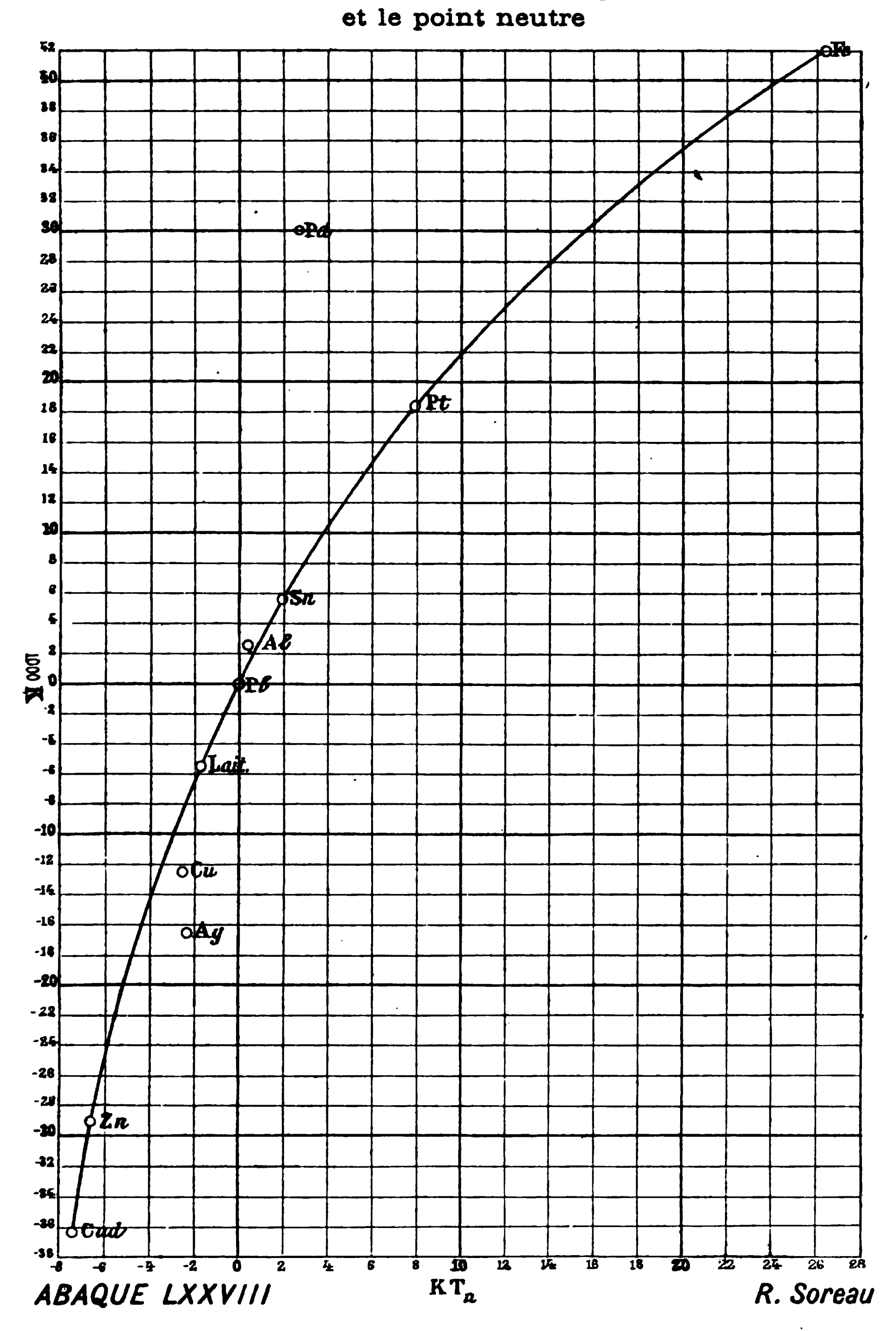
$$x = \frac{K}{1 + K},$$

$$y = \frac{K}{1 + K} t_n.$$

La relation $f(xy) = 0$ donne donc une relation entre K et t_n, et l'on pourrait chercher cette relation en étudiant la courbe de l'abaque à points alignés. Mais comme on connait par des tableaux d'observations les valeurs de K et de t_n pour les différents métaux, il est plus simple d'opérer cette recherche sur des graphiques convenablement choisis déduits de ces tableaux.

Il nous a paru avantageux de considérer les valeurs K et KT_n, en prenant les points neutres par rapport au zéro absolu. Portant KT_n en abscisses, K en ordonnées, nous avons obtenu l'abaque LXXVIII, où les points figuratifs du cadmium, du zinc, du laiton, du plomb, de l'étain, du platine et du fer se distribuent parfaitement bien sur une courbe régulière. L'argent, le cuivre

RELATION ENTRE
le coefficient de la chaleur spécifique d'électricité et le point neutre



ABAQUE LXXVIII — *R. Soreau*

et l'aluminium sont un peu en dehors de cette courbe. Le palladium donne un point nettement isolé.

La courbe est d'allure exponentielle, et l'on pourrait chercher à la représenter par une équation de la forme :

$$A \log (1 + BKT_n) = K.$$

Mais la recherche d'une semblable équation, à coefficients fixes, ne nous a pas paru présenter d'intérêt, et voici pourquoi :

Bien que la courbe passe par 7 points sur 11, et que 3 des 4 autres points en soient peu éloignés, nous pensons qu'elle n'est qu'une traduction graphique approchée d'une loi rigoureuse dans laquelle entrent, outre le point neutre et la chaleur spécifique d'électricité, certaines caractéristiques physiques des métaux, en particulier la résistance et la conductibilité électriques. L'introduction de ces caractéristiques doit être faite de façon à amener rigoureusement sur une même courbe les points figuratifs des divers métaux.

Nous ne saurions nous proposer ici de chercher une telle loi; il nous suffit de montrer comment la Nomographie nous a conduit à en soupçonner l'existence.

223. — *Loi des consommations théoriques de la machine à vapeur (Abaques LXXIX et LXXX).* — Cette loi a été récemment découverte par M. A. Rateau, Ingénieur des Mines (1), et par le professeur Mollier (2). La priorité revient, d'ailleurs, à M. Rateau, qui a trouvé la loi par le mode de transformation indiqué cidessus.

Soit N l'énergie qu'il est possible de retirer d'un kilogramme de vapeur saturée et sèche fonctionnant dans une machine parfaite entre la pression initiale P et la pression finale p, avec détente adiabatique complète poussée jusqu'à la pression p, c'est-à-dire suivant le cycle de Rankine. On a, en kilogrammètres :

$$N = 425 \left[r \frac{T_1 - T_2}{T_1} + \int_{T_2}^{T_1} c \frac{T - T_2}{T} dT \right],$$

T_1 et T_2 étant les températures absolues correspondant aux pressions *absolues* P et p, C et r étant la chaleur spécifique et la chaleur de vaporisation du liquide à la température T.

(1) *Annales des Mines*, février 1897.
(2) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, juin 1898.

Pour les machines à vapeur, qu'il s'agisse de machines à pistons ou de turbines, les tables de Regnault permettent de calculer N d'après l'expression ci-dessus ; on peut donc avoir ainsi la consommation théorique en kilogrammes par cheval-heure $K = \frac{270\,000}{N}$, pour des valeurs données de P et de p.

M. Rateau a eu l'intuition de construire les lignes d'égale consommation en les rapportant à deux réseaux :

$$x = \log p,$$
$$y = \log P.$$

Il obtint ainsi un réseau de droites (K) qui semblaient concourantes. La transformation de cet abaque LXXIX en un abaque à points alignés lui donna effectivement une droite [K] *(Abaque LXXX)*.

Il existe donc une loi de la forme $K = f(\log p, \log P)$. Pour la trouver, il faut exprimer la loi de répartition des cotes sur la droite [K], ce que nous allons faire très facilement avec les coordonnées cartésiennes.

Prenons pour origines des échelles $u_p = l \log p$, $u_P = -l \log P$

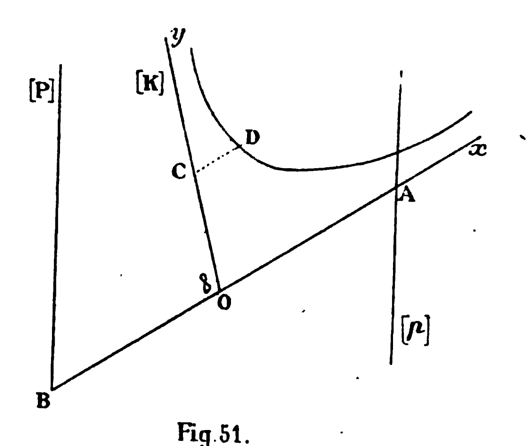
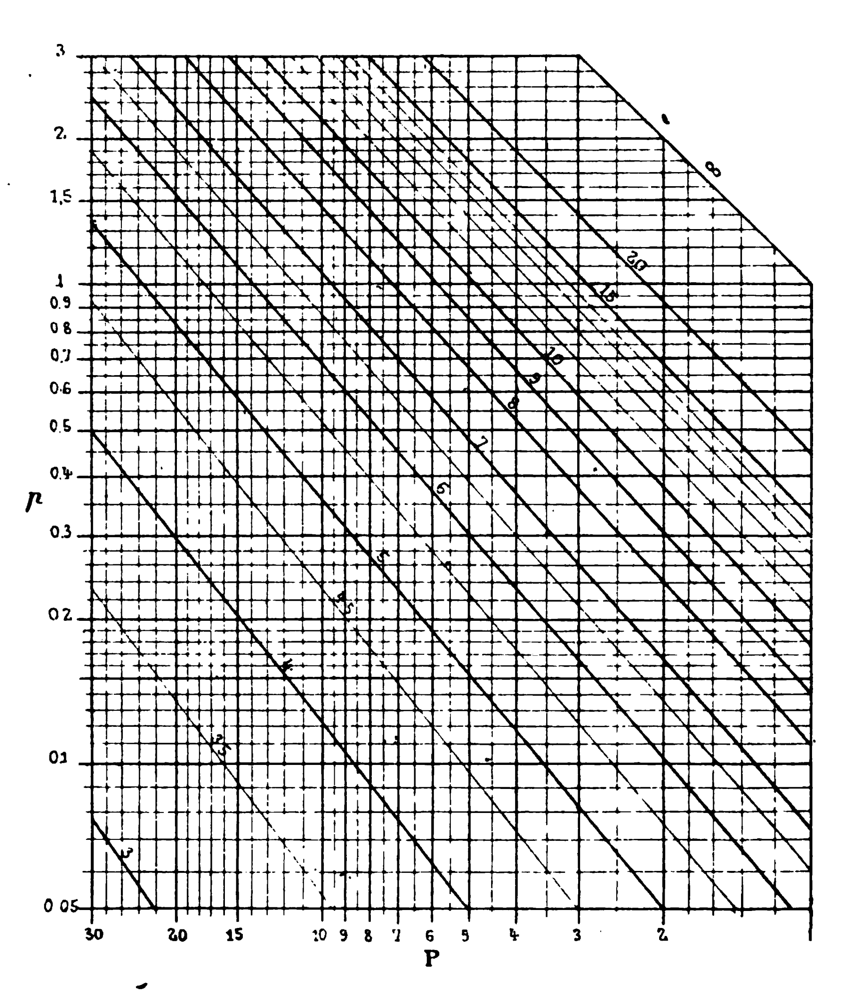


Fig. 51.

les points A et B cotés 1 *(fig. 51)*. L'alignement AB détermine sur [K] le point O coté ∞, car, pour toutes les valeurs $p = P$, K est infini, par la nature même du problème. En chaque point de l'échelle [K] menons une parallèle CD à OA, de longueur proportionnelle à sa cote ; nous obtenons évidemment une courbe asymptote à OA : M. Rateau a vérifié que c'est une branche d'hyperbole équilatère.

CONSOMMATIONS THÉORIQUES

de la machine à vapeur

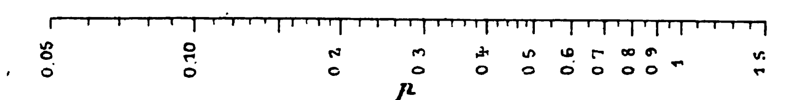


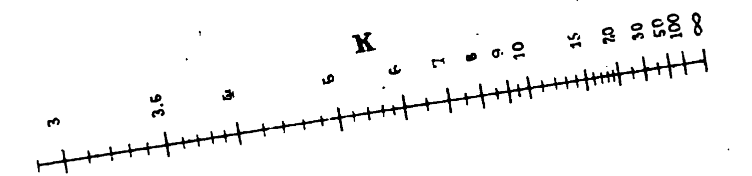
ABAQUE LXXIX

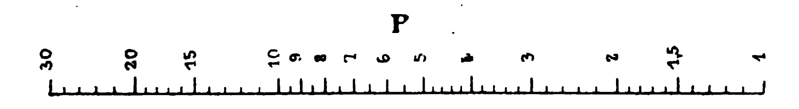
A. Rateau

CONSOMMATIONS THÉORIQUES

de la machine à vapeur







ABAQUE LXXX *A. Rateau*

Dès lors, les équations des supports rapportés aux axes OA et [K] sont, en prenant $OA = a$, $OB = -b$:

$$\begin{cases} x = a - m \log p, \\ y = -n \log p, \end{cases} \qquad [p]$$

$$\begin{cases} x = -b + m \log P, \\ y = n \log P, \end{cases} \qquad [P]$$

$$\begin{cases} x = 0, \\ y = \frac{c}{K}. \end{cases} \qquad [K]$$

Exprimons que les points p, P, K sont en ligne droite :

$$\begin{vmatrix} a - m \log p & -n \log p & 1 \\ -b + m \log P & n \log P & 1 \\ 0 & c & K \end{vmatrix} = 0.$$

Comme on a $K = \infty$ pour $p = P$, quel que soit p, le coefficient de K est identiquement nul pour $p = P$, d'où $a = b$: le point O est alors le milieu de AB. Développons le déterminant en introduisant cette condition; nous obtenons une expression de la forme :

$$(\lambda - K) \log p + (\Lambda + K) \log P - \mu = 0.$$

M. Rateau a déduit des tables de Regnault un grand nombre de groupes de valeurs p, P, K. Substituant dans l'équation ci-dessus et traitant cette équation, linéaire en λ, Λ et μ, par la méthode des moindres carrés, il a obtenu :

$$\lambda = 0{,}85, \qquad \Lambda = 0{,}07, \qquad \mu = 6{,}95,$$

d'où :

$$K = 0{,}85 + \frac{6{,}95 - 0{,}92 \log P}{\log P - \log p}.$$

Telle est la loi cherchée : elle cadre d'une façon remarquable avec les valeurs calculées directement pour K (1).

(1) La formule proposée par M. Mollier :

$$K = \frac{6{,}87 - 0{,}9 \log p}{\log P - \log p},$$

est analogue à celle de M. Rateau, qu'on peut écrire :

$$K = \frac{6{,}95 - 0{,}85 \log p - 0{,}07 \log P}{\log P - \log p}.$$

Elle est, d'ailleurs, un peu moins exacte.

Les abaques de M. Rateau permettent de résoudre rapidement un certain nombre de questions intéressantes, sur lesquelles il convient de dire quelques mots dans une publication comme celle de notre Société.

D'après la terminologie proposée par l'*Institution of Civil Engineers* de Londres, le rendement spécifique d'une machine à vapeur est le rapport $\rho = \frac{k}{K}$, k étant la consommation suivant le cycle réel entre les températures T_1 et T_2, et K la consommation suivant le cycle de Rankine entre les mêmes températures. Les abaques de M. Rateau donnent de suite K, et par suite ρ, *dans le cas de la vapeur sèche et saturée,* sans qu'il soit nécessaire de passer par les rendements thermiques de la machine considérée et de la machine parfaite, ainsi que le propose le Rapport de l'*Institution of Civil Engineers.*

Pour les machines à vapeur surchauffée, il faut faire subir à K une légère diminution; M. Lelong, Ingénieur de la Marine, adjoint alors aux abaques de M. Rateau une échelle qui donne cette correction avec une approximation suffisante (1).

D'autre part, M. Rateau a complété ses abaques par un abaque du même genre qui donne la proportion d'eau condensée pendant la détente adiabatique d'une certaine quantité de vapeur initialement saturée et sèche (2).

224. — Ce remarquable exemple fait clairement ressortir tout le parti qu'on peut tirer de la Nomographie pour la recherche des lois dans lesquelles la fonction à déterminer dépend de 2 variables.

Il est bien évident, d'ailleurs, que cette façon de procéder s'étend au cas où le nombre des variables est plus élevé : mais l'intuition et l'ingéniosité du chercheur doivent être d'autant plus aiguës.

Supposons, pour fixer les idées, que l'inconnue α_1 dépende de 3 variables. Pour utiliser les principes précédents, il y aura lieu d'essayer, pour autant que cela est possible, d'associer l'inconnue α_1 à l'une des variables, α_2 par exemple, de façon à représenter les données expérimentales par un abaque à deux échelles binaires accolées dont les réseaux soient formés de droites. Une étude attentive des circonstances du phénomène et de ses variations

(1) *Bulletin de l'Association technique maritime*, session de 1899.
(2) *Congrès international de Mécanique appliquée* de 1900, tome III.

d'après les variations de α_2, α_3, α_4, quelques essais systématiquement conduits, un choix judicieux des fonctions, indiqueront les moyens propres à obtenir ce résultat.

Cet abaque sera alors transformé en un abaque à courbes cotées par notre méthode du n° **105**, et l'on trouvera la loi cherchée par la mise en équation de ces courbes sous la forme :

$$x = \frac{f_n}{\psi_n},$$

$$y = \frac{\varphi_n}{\psi_n}.$$

225. — En terminant notre Mémoire, nous nous plaisons à espérer que le labeur qu'il nous a coûté contribuera à répandre le goût et l'usage de cette branche nouvelle des Mathématiques appliquées. Nous voudrions, du moins, que ce travail ne donnât pas un démenti à nos lignes du début : « En dépit du caractère abstrait des principes dont elle relève, la Nomographie séduira, croyons-nous, par la diversité de ses applications, par l'élasticité de ses méthodes, par l'ingéniosité et la force réelle de ses procédés d'investigation ».

TABLE DES MATIÈRES

ÉQUATIONS A 4 VARIABLES DE LA FORME $F_{12} = F_{34}$

A. — Abaques à échelles binaires accolées.

B. — Abaques à réseaux rectilignes et abaques corrélatifs à points alignés.

ÉQUATIONS A PLUS DE 3 VARIABLES

Pages.

A. — Principes généraux.

B. — Applications.

C. — Échelles mobiles.

SYSTÈMES D'ÉQUATIONS

RECHERCHE DES LOIS

CHRONIQUE

N° 260

Sommaire. — La qualité de la vapeur *(suite)*. — Puissantes machines à vapeur. — Effet des inscrustations sur le rendement des chaudières. — Explosions de chaudières aux États-Unis. — Chemin de fer électrique à crémaillère, Gênes-Granarolo. — Distribution d'eau pour une très petite localité. — La ventilation spontanée à travers les murs des pièces habitées. — Le navire aérien Zeppelin.

La qualité de la vapeur (*suite*). — C'est surtout à l'étude des chaudières de locomotives que les considérations qui ont été exposées précédemment peuvent s'appliquer le plus utilement. Ces chaudières sont généralement très bien proportionnées au point de vue de la surface d'émersion de la vapeur. On trouve le plus souvent de 15 à 20 m^2 de surface de chauffe totale pour 1 m^2 de surface de niveau d'eau. Mais cette indication ne suffit pas pour donner une idée exacte des conditions comparatives d'émersion de la vapeur produite, d'abord parce que la pression de fonctionnement des générateurs a augmenté de 100 0/0 depuis quarante ans et ensuite parce que la répartition de la surface de chauffe en surface directe et surface indirecte et le rapport de la surface de chauffe à la surface de grille varient dans des limites assez étendues d'une locomotive à une autre. Il est logique de rapporter la surface de niveau d'eau au volume de vapeur produite ; on doit donc chercher à connaître approximativement ce volume ou le poids qui conduira ce volume par l'application de la densité δ.

Nous emploierons à cet effet l'expression très simple proposée, il y a une vingtaine d'années, par feu M. Marié, alors ingénieur en chef du Matériel et de la Traction des chemins de fer P.-L.-M. Cette expression, $368\sqrt{gC}$, donne le poids de vapeur produit par heure pour une chaudière de locomotive ayant une surface de grille g et une surface de chauffe totale C exprimées en mètres carrés. La forme de l'expression est bonne, elle tient compte des deux éléments principaux de la combustion et de la vaporisation, mais on peut discuter sur la valeur du coefficient. Nos collègues, MM. Deharme et Pulin, dans leur excellent ouvrage sur la *Chaudière de Locomotive* disent, page 309, à propos de cette formule, que le coefficient 368 suppose un degré d'activité de combustion qui ne correspond plus généralement à la puissance normale des machines et proposent, pour faire concorder les résultats donnés par la formule avec ceux de la pratique, de porter le coefficient de 368 à 460.

Comme nous ne cherchons pas des résultats absolus, mais simplement des valeurs comparatives, nous prendrons l'expression $\sqrt{gC}$ sans aucun coefficient et nous la diviserons par δN comme précédemment. N étant la surface de niveau d'eau et δ le poids du mètre cube de vapeur à la pression P + 1. C'est ainsi que nous avons dressé le tableau B, donnant

TABLEAU B

Nos	DATES	DÉSIGNATION DES LOCOMOTIVES	g	C	N	$\frac{C}{N}$	P	δ	$\frac{\sqrt{gC}}{N}$	$\frac{\sqrt{gC}}{\delta N}$
1	1840	Versailles (Sharp) . . . . . Voyageurs . .	1,05	56	3,30	16,0	5	3,17	2,16	0,68
2	1843	Rouen (Buddicom) . . . . . — . .	1,08	65	3,90	16,6	6	3,65	2,15	0,59
3	1848	Nord (Stephenson) . . . . . — . . .	0,85	72	3,85	18,6	6,5	3,89	2,01	0,52
4	1850	Nord (Crampton). . . . . . — . .	1,42	98	5,10	19,8	7,0	4,13	2,31	0,55
5	1856	Lyon (Bourbonnais. . . . . Marchandises.	1,34	116	6,50	17,8	9	5,09	1,92	0,37
6	1860	Nord (Fortes rampes). . . . — .	2,62	153	6,20	24,7	8,5	4,86	3,22	0,66
7	1862	Nord (4 cylindres) . . . . . — .	3,33	197	7,20	27,3	9	5,09	3,58	0,70
8	1878	P.-L.-M. . . . . Voyageurs . .	2,14	126	7,50	16,7	9	5,09	2,19	0,43
9	1878	Nord . . . . — . .	2,31	99,4	6,40	15,5	10	5,57	2,37	0,42
10	1892	Université de Purdue. . . . — . .	1,60	113	6,00	19,0	10	5,57	2,25	0,40
11	1892	New-York Central . . . . . — . .	2,75	174	7,90	22,0	12	6,52	2,76	0,42
12	1900	État Saxon (Chemnitz) . . . — . .	2,42	165	8,00	20,6	15	7,92	2,50	0,32
13	1900	État Bavarois (Krauss) . . . — . .	2,91	190	11,00	17,3	14	7,45	2,13	0,29
14	1900	État Bavarois (Maffei). . . . Marchandises.	2,65	157	8,10	19,3	15	7,92	2,52	0,31
15	1900	Moscou Kazan . . . . — .	2,50	200	10,80	18,5	12	6,52	2,05	0,31
16	1900	P.-L.-M. (4 cylindres). . . . Voyageurs (a).	2,48	163	7.60	21,4	15	7,92	2,64	0,33
17	1900	Nord (4 cylindres) . . . . . — (a).	2,80	182	9,60	19,0	16	8,38	2,36	0,28
18	1910	Creusot (Thuile) . . . . . . — (a).	4,68	257	9,50	27,0	15	7,92	3,65	0,46

(a) Les machines qui sont affectées de ce signe ont des chaudières munies de tubes à ailerons.

les conditions d'établissement, au point de vue qui nous occupe. de dix-huit locomotives de tout genre et de toute époque. Nous devons faire remarquer que les trois dernières chaudières du tableau possèdent des tubes à ailerons et que, pour pouvoir comparer ces chaudières avec celles qui sont munies de tubes lisses, nous avons, en nous inspirant des considérations exposées par MM. Deharme et Pulin dans l'ouvrage déjà cité, page 251 fait subir à la surface des tubes à ailerons en contact avec les gaz une réduction de 15 0/0, admettant par conséquent que 85 m^2 de surface intérieure de tubes lisses équivalent à 100 m^2 de surface intérieure développée de tubes à ailerons. C'est cette surface tubulaire réduite, jointe à la surface de chauffe du foyer, qui constitue la surface C du tableau pour les machines à tubes Serve.

L'expression $\frac{\sqrt{gC}}{\delta N}$ serait donc une sorte de caractéristique de la valeur de la chaudière eu égard à la manière dont la vapeur produite émerge de la surface de niveau d'eau. Plus cette expression est faible, plus la chaudière est dans des conditions favorables à ce point de vue. Nous ne nous dissimulons pas que ce mode de comparaison n'est pas absolument rigoureux, parce que les conditions de production de la vapeur ne sont pas identiques dans les diverses locomotives du tableau, mais nous croyons néanmoins que ce mode de représentation donne des idées générales d'une justesse suffisante pour permettre de juger des conditions d'établissement d'une chaudière au point de vue de l'émersion de la vapeur. On remarquera de plus que, si on divise l'expression par 10, 3 600, nombre de secondes contenues dans une heure, étant très approximativement 10 fois 368 coefficient de la formule de M. Marié, 0,10 $\frac{\sqrt{gC}}{\delta N}$ représentera très sensiblement la valeur absolue de vitesse d'ascension par seconde, de même que 0.125 $\frac{\sqrt{gC}}{\delta N}$ représentera cette vitesse dans l'hypothèse de l'introduction dans la même formule du coefficient 460 indiqué par MM. Deharme et Pulin. On voit qu'il est extrêmement facile de tirer de la dernière colonne du tableau les vitesses absolues d'émersion de la vapeur, il suffit de multiplier les chiffres de cette colonne par 0,10 ou 0,125 suivant les cas.

L'examen du tableau précédent donne lieu à des observations intéressantes. On voit que, comme nous l'avons déjà dit, sauf des cas exceptionnels, 1 m^2 de surface de niveau d'eau correspond à 15 à 20 m^2 de surface de chauffe totale, mais on voit aussi que la pression de fonctionnement introduit un élément capital dans la vitesse d'émersion de la vapeur. En fait, cette vitesse a progressivement diminué pour arriver à n'être plus que la moitié de ce qu'elle était il y a 50 à 60 ans et cela grâce à l'élévation de la pression, car le rapport $\frac{C}{N}$ n'a pas varié sensiblement. On peut dire que, même si on ne considère que la production de la vapeur, l'élévation graduelle des pressions jusqu'aux taux actuels a été un progrès incontestable.

On remarquera que deux types du chemin de fer du Nord, construits vers 1860 et 1862 donnent des chiffres exceptionnels. On s'était attaché avant tout à accroître les éléments de production de la vapeur dans une large mesure et les conditions d'émersion étaient devenues très défavorables. Ces chaudières devaient avoir une tendance à entraîner de l'eau dans une proportion notable et ce qui semble confirmer cette hypothèse est l'application qu'on leur avait fait d'appareils sécheurs qui n'agissaient en réalité que comme réservoirs de vapeur supplémentaires.

On peut dire dès à présent que toutes les tentatives qui ont été faites pour modifier dans une mesure un peu importante la disposition générale des chaudières de locomotives n'ont pas été heureuses au point de vue qui nous occupe. Prenons par exemple la chaudière à foyer réfractaire de Verderber essayée vers 1878 sur les chemins de fer de l'État hongrois.

La chaudière primitive timbrée à 8,5 *kg* avait 6 m^2 de surface de niveau pour 128 m^2 de surface de chauffe totale, soit un rapport de **21**. La suppression du foyer métallique a ramené la surface de chauffe à 120,2 m^2 et la surface de niveau à 4,20 m^2, rapport 28,6, on voit que cette modification n'a pas été favorable aux conditions d'émersion de la vapeur.

La chaudière Docteur, analogue à la précédente, essayée au chemin de fer de l'État Belge, avait 160 m^2 de surface de chauffe pour 5 m^2 de niveau d'eau ce qui donne un rapport de 32 ; on a cru devoir réduire la surface à 120,7 m^2 par la suppression de 76 tubes, le rapport reste encore à 24. Il était certainement notablement moindre dans la chaudière primitive à foyer en métal. On ne saurait donc pas voir là une amélioration.

La chaudière de la locomotive Thuile, exposée en 1900 par le Creusot, ne paraît pas non plus, comme on peut le voir dans le tableau B, être dans des conditions bien favorables. On devait s'y attendre, car l'emploi d'une chaudière à section se rapprochant de l'ovale a pour effet d'accroître la surface de chauffe en hauteur en réduisant relativement la largeur du plan du niveau d'eau.

La chaudière Lentz, à foyer cylindrique ondulé, dont l'enveloppe est formée de deux parties tronconiques, n'est pas non plus dans de bonnes conditions au point de vue dont nous nous occupons ; la surface de niveau d'eau y est relativement restreinte et la chambre de vapeur insuffisante. Du reste, cette chaudière n'a reçu que de rares applications dont une des plus connues était celle qui a été faite à la première locomotive électrique Heilmann ; elle ne s'est pas répandue plus que les précédentes et nous croyons inutile de nous étendre plus longuement à son sujet (1).

Mais un des exemples les plus curieux qu'on puisse citer est l'avant-

(1) Ce genre de chaudières reparaît en ce moment aux États-Unis sous le nom de chaudière Vanderbilt. Le *Railroad Gazette* du 31 mai dernier donne le dessin de la chaudière de ce système d'une locomotive construite par les ateliers Baldwin pour l'Illinois Central R.R. Les défauts dont nous parlons plus haut y sont singulièrement exagérés. La surface de niveau d'eau n'est que de 5,80 m^2 pour une surface de chauffe de 228 m^2, rapport 40 environ.

projet de chaudière indiqué par Eugène Flachat dans son projet de traversée des Alpes.

Ce générateur aurait eu 370 m^2 de surface de chauffe et le plan d'eau se composait seulement d'une surface assez faible sur le foyer et de trois tubulures de 0,50 *m* de diamètre réunissant le corps cylindrique à un réservoir de vapeur et dans lesquelles devait se faire la dénivellation sur les rampes. La surface totale de niveau d'eau était ainsi de 4,60 m^2, ce qui, pour 370 m^2 de surface de chauffe donne le rapport extraordinairement élevé de 80. On trouverait de la manière exposée plus haut, en supposant la pression de 9 *kg* en usage à l'époque, une vitesse d'émersion de la vapeur de 0,142 à 0,177 *m* par seconde qui est au moins quadruple de celles qu'on s'attache à réaliser aujourd'hui. Cette chaudière n'aurait guère pu fonctionner sans donner lieu à des trombes d'eau par les tubulures de communication. Il est du reste infiniment probable que, si on eut dû passer à l'exécution, une étude plus approfondie aurait conduit à modifier sérieusement ces dispositions.

On pourrait multiplier ces exemples presque à l'infini. La conclusion est que la forme de chaudière que Stephenson ébaucha, en 1829, sur la *Rocket* et rendit définitive sur les locomotives qui suivirent immédiatement celle-ci (1) s'est trouvée parfaite du premier coup et est restée invariable dans sa disposition générale depuis soixante-dix ans, malgré des élévations successives qui ont porté la pression au quintuple de ce qu'elle était à l'origine.

L'examen des résultats donnés par les locomotives récentes les mieux établies fait voir que la vitesse de la vapeur reste dans les limites que nous avions indiquées dans notre mémoire déjà cité de 1869 où nous disions, page 483 : « Pour les chaudières cylindriques à pression élevée et à réservoirs de vapeur restreints, on n'est sûr d'avoir de la vapeur parfaitement sèche que lorsque la vitesse ascensionnelle de la vapeur ne dépasse pas 4 *cm* par seconde. » (*A suivre.*)

Puissantes machines à vapeur. — Nous avons dit, dans les *Informations Techniques* de mars 1900, 1re quinzaine, page 173, que la New-York Gas, Electric Light, Heat and Power Cy avait décidé d'installer une station centrale contenant 16 machines à vapeur de 5 500 *ch* chacune. Il est possible que ces chiffres aient été modifiés pour l'exécution, toujours est-il que les journaux techniques américains annoncent que la Compagnie Westinghouse, de East Pittsburgh, vient de terminer la première des 8 machines de 6 000 *ch* qui lui ont été commandées par la Compagnie désignée ci-dessus. Cette machine est la plus puissante qui ait été construite jusqu'ici aux États-Unis. Elle pourra développer au besoin 10 500 *ch*.

Voici quelques renseignements sur ce moteur. La machine contient 10 500 pièces différentes, boulons et vis compris ; le poids total s'élève

(1) Si Marc Séguin est bien l'inventeur de la chaudière à tubes à fumée, on ne saurait contester à Stephenson l'honneur d'avoir créé la véritable chaudière de locomotive. Le type de générateur à retour de flamme, établi par le premier pour le chemin de fer de Saint-Étienne, ne se prêtait ni à une élévation sensible de pression ni à la construction de locomotives à grande vitesse.

à 680 000 *kg* en nombre rond. Les chiffres suivants peuvent donner une idée de ses dimensions.

Hauteur du sol au plateau supérieur des cylindres 11,36 *m*, longueur dans le sens de l'axe de l'arbre 12,50 *m*, largeur dans le sens perpendiculaire à l'arbre 7,00 ; diamètre du volant 7,00 *m* ; diamètre de l'arbre 0,66 à 0,75 *m* ; poids de l'arbre 61 600 *kg*. Il a fallu 30 wagons pour le transport par chemin de fer.

La plaque de fondation, en trois pièces, pèse 93 000 *kg* ; sur cette plaque s'élèvent trois bâtis en forme d'A portant à la partie supérieure des brides sur lesquelles s'ajustent les guides des têtes de tiges de piston. Ces guides portent eux-mêmes les cylindres au nombre de trois un à haute et deux à basse pression.

Trois plates-formes de circulation entourent la machine, la première à la jonction des bâtis en A et des guides de têtes de tiges de piston, la deuxième à la hauteur du bas des cylindres et la dernière à la partie supérieure des cylindres. Ces plates-formes sont reliées entre elles par des escaliers à spirale en fer et la plus basse avec le sol par un escalier droit.

Le cylindre à haute pression a 1.105 *m* de diamètre et les cylindres à basse pression 1,918 *m*, ce qui donne un rapport de volumes de 3 à 1, la course est de 1,524 *m* et le nombre de tours prévu de 75 par minute, soit une vitesse de piston de 3,80 *m* par seconde. Le cylindre à haute pression a une distribution par soupapes actionnées par un mécanisme à déclic, tandis que les cylindres à basse pression ont des obturateurs Corliss avec commande ordinaire par plateau oscillant et bielles. Cette combinaison des deux systèmes est peu usitée en Amérique ; elle a été adoptée parce que le cylindre à haute pression reçoit de la vapeur à 12,5 *kg* de pression surchauffée de 150° ce qui la porte à une température de 302°C. à laquelle il ne serait pas facile de lubrifier des obturateurs Corliss de manière à en obtenir un service satisfaisant.

La machine est à condensation et le vide doit atteindre normalement 0,66 *m* de hauteur de mercure. Un réservoir réchauffeur est disposé à la hauteur des guides de tiges de piston et s'étend sur toute la longueur de la machine. Il contient 110 tubes donnant une surface de chauffe de 112 m^2. Les cylindres à basse pression ont seuls des enveloppes de vapeur.

On peut signaler comme particularité intéressante dans la construction de cette machine que les excentriques qui commandent la distribution ne sont pas calés sur l'arbre comme d'habitude, mais sur un arbre auxiliaire placé parallèlement à celui-ci et à la hauteur de la première plate-forme. Cet arbre de distribution est commandé par le premier par l'intermédiaire d'une transmission comportant des roues dentées hélicoidales. Au moyen de cette disposition on peut avoir des excentriques d'un diamètre réduit donnant lieu à beaucoup moins de frottement ; le diamètre de l'arbre à manivelles étant de 0,75 *m* celui de l'arbre de distribution n'est que de 0,152 *m*. L'arbre coudé est en acier comprimé à l'état fluide et forgé à la presse hydraulique ; les bielles motrices sont de la même matière, ces pièces ont été fournies par les forges de Bethlehem.

L'arbre, dont nous avons donné plus haut les dimensions, a un évi-

dement central de 0,254 *m* de diamètre dans les parties situées entre les portées et de 0,22 *m* aux portées.

Les bielles motrices, en acier forgé, ont 4,185 *m* de longueur de centre en centre, soit 5,5 fois le rayon de manivelle, les boutons des petites têtes ont 355×335 et les boutons de manivelle 0,56 *m* de diamètre sur 0,355 de longueur.

Le moyeu du volant est en fonte, les bras et la jante en acier coulé. Le moyeu et la jante sont faits chacun en cinq parties assemblées avec croisement partiel. La vitesse à la circonférence au nombre de tours normal est de 27,50 *m* par seconde.

L'armature de la dynamo est calée sur l'arbre à côté du volant avec des clavettes et elle est en outre reliée par un boulonnage au moyeu du volant. L'extrémité de l'arbre au delà de l'armature est portée par un palier boulonné à un fort massif de fonte.

Bien que la machine dont nous nous occupons soit plus puissante que les moteurs récemment construits pour les stations centrales de Bay Ridge de la Kings County Light and Power Cy, le volant est beaucoup plus petit, parce que dans la machine que nous venons de décrire le calage à 120° des trois manivelles donne une uniformité de rotation qu'on ne peut obtenir dans une machine n'ayant que deux manivelles.

On a déjà commencé le travail sur les autres machines de 6,000 *ch* de la New-York Gas, Electric Light, Heat and Power Company et les ateliers Westinghouse y sont occupés ainsi qu'à la construction de 8 machines de 5 000 *ch* chacune du même type pour le chemin de fer de la troisième Avenue de New-York, 2 semblables pour l'Elevated Railway de Boston et 2 de 1 500 *ch* chacune pour Manchester, en Angleterre.

Effet des incrustations sur le rendement des chaudières. — Comme conclusion d'un article publié sous le titre qui précède dans le *Boiler Maker*, M. William H. Bryan, de Saint-Louis, dit : 1° Les dépôts ordinaires de chaudières qui sont généralement de contexture plus ou moins poreuse ont peu ou point d'effet sur la production de vapeur ou le rendement des chaudières tant que leur épaisseur ne va pas jusqu'à empêcher la circulation de l'eau ; 2° Les dépôts durs et compacts qu'on rencontre parfois réduisent à la fois la production et le rendement des générateurs, mais dans une mesure très variable qui dépend de la nature et de l'épaisseur de ces dépôts ; 3° La présence d'une assez faible épaisseur de suie sur la partie en contact avec le feu des surfaces de chauffe a un effet immédiat et très marqué sur la production de vapeur et le rendement des chaudières. Ce dernier point a été souvent mis en lumière, mais peut-être jamais aussi bien que par une série d'expériences faites par l'auteur sur des chaudières à eau dans les tubes, il y a quelques années, à Columbus, Ohio.

Ces essais ont eu lieu sur trois chaudières semblables placées en batterie. La température des gaz à la sortie était en moyenne, pour deux des chaudières, de 260°C. tandis que, pour la troisième, cette température s'élevait à 330°. Après beaucoup de recherches, on finit par reconnaître que, dans leur hâte à tout préparer pour les essais, les chauffeurs avaient oublié de nettoyer l'extérieur des tubes de cette chaudière.

L'auteur tient à être bien compris. Il est loin de vouloir contester l'intérêt qu'il y a à épurer les eaux d'alimentation et l'utilité du nettoyage intérieur plus ou moins fréquent des chaudières. Ces précautions ne doivent pas être négligées, mais il est probable que leur utilité est surtout au point de vue de la prévention des accidents, notamment des coups de feu aux chaudières. Elles ont beaucoup moins d'importance sous le rapport de l'économie de combustible qu'on ne le croit généralement. A ce point de vue, la propreté des surfaces de chauffe du côté du feu a une beaucoup plus grande valeur. Cette considération donne un intérêt encore plus sérieux aux dispositions propres à prévenir l'émission de la fumée dans le chauffage des chaudières.

Un fait qui vient à l'appui de cette manière de voir est la très notable conductibilité des dépôts pour la chaleur, ce dont on peut s'assurer en prenant un morceau de ces dépôts en feuilles longues et minces qu'on trouve autour des tubes de chaudière et en les chauffant à un bout ; on constatera facilement que la conductibilité se rapproche de celle des métaux au moins pour certaines natures de dépôts. On comprend d'ailleurs qu'avec les intervalles très faibles qui existent entre les tubes des chaudières tubulaires ordinaires une épaisseur un peu forte des dépôts ralentit la circulation et par là réduit la vaporisation par un effet indirect.

Explosions de chaudières aux États-Unis. — Le journal *Locomotive*, publie par la Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Company, dit : « Le nombre total des explosions de chaudières survenues en 1900 aux États-Unis a été de 373 ; c'est 10 de moins que l'année précédente. Il y a eu, en effet, 363 explosions en 1899, 383 en 1898, 369 en 1897 et 346 en 1896.

Le nombre de personnes tuées en 1900 a été de 268 contre 298 en 1899, 324 en 1898, 398 en 1897 et 382 en 1896. Quant au nombre de blessés (non morts de leurs blessures) il a été de 520 en 1900 contre 456 en 1899, 577 en 1898, 398 en 1897 et 382 en 1896.

On voit par les chiffres qui précèdent que, dans l'année 1900, il y a eu, en moyenne, un peu plus d'une explosion par jour. Si on rapporte, pour la même année, le nombre des morts et des blessés au nombre d'explosions, on trouve qu'il y a eu 0,72 morts et 1,40 blessés, soit en tout 2,12 victimes par explosion.

Il est difficile d'expliquer pourquoi les explosions de chaudières sont plus nombreuses et plus graves aux Etats-Unis qu'en Angleterre par exemple. Ainsi, dans l'année qui a fini le 1er juillet 1900, les explosions de chaudières survenues dans la Grande-Bretagne n'ont tué que 24 personnes et blessé 65, soit en tout 89 victimes. Le contraste entre ce chiffre et celui de 830 victimes faites aux Etats-Unis pour la même année pendant la même période est frappant. On ne saurait admettre que les chiffres qui se rapportent à la Grande-Bretagne soient inexacts parce que le Board of Trade a tous les moyens possibles pour être bien renseigné. D'autre part il n'est point présumable que le nombre des chaudières des Etats-Unis soit dix fois celui des générateurs de la Grande-Bretagne. On a dit que les chaudières américaines fonctionnent avec un facteur de sécurité moindre que les chaudières anglaises. Nous n'avons

aucun moyen de savoir si c'est vrai, mais la différence, s'il y en a une, ne peut être assez grande pour expliquer l'excès réellement effrayant du nombre des explosions et des victimes aux Etats-Unis. En fait nous renonçons à trouver une explication raisonnable de ce fait peu flatteur pour l'amour-propre des constructeurs ou des propriétaires de chaudières des Etats-Unis ».

Chemin de fer électrique à crémaillère Gênes-Granarolo. — L'ingénieur D. Pellegrino donne dans le *Giornale del Genio Civile* une description très détaillée du nouveau chemin de fer électrique à crémaillère Gênes-Granarolo, description dont nous donnons ici un résumé.

Cette ligne a été ouverte à l'exploitation dès les premiers jours de cette année. Elle a son point de départ à Gênes à l'origine de la route communale dite *Salita di San Rocco*, dans le voisinage de la Piazza Principe ; elle suit d'abord cette route en empruntant son sol pendant 138 *m* puis suit un tracé spécial jusqu'à Granarolo qui est un faubourg de Gênes. La voie a un développement de 1135 *m* en projection horizontale ; la différence de niveau entre les extrémités est de 195,50 *m* ; la rampe moyenne est de 17,15 0/0, mais les déclivités varient entre 10 et 20,15 0/0. La ligne est à voie unique, sauf un croisement au milieu ; le rayon des courbes varie entre 200 et 80 *m*.

Sur la voie publique, la ligne est surélevée de 0,15 *m* et occupe une largeur de 3 *m* en laissant un espace de 2,80 *m* pour la circulation des piétons et des mulets ; il y a une séparation formée par une balustrade en fer de 0,80 *m* de hauteur. Dans la partie propre du tracé la plateforme a une largeur de 3,60 *m* à 4,05 *m*, elle est tantôt en remblai, tantôt en tranchée sur le flanc de la colline de Granarolo. Au croisement la largeur atteint 6,30 *m*.

Il y a deux stations très simples, une à chaque extrémité ; elles sont reliées par teléphone. Il y a deux passages à niveau, l'un pour un chemin muletier, l'autre pour une route stratégique qui relie les forts de Gênes à la batterie de Granarolo.

Les rails sont en acier, à patin, du poids de 21 *kg*, par mètre courant ; ils sont fixés sur des traverses qui portent également la crémaillère de manière que la partie supérieure du champignon soit au même niveau que le haut de la crémaillère. Les traverses sont appuyées contre de forts massifs de maçonnerie encastrés dans le sol et dont le but est de prévenir la descente de la voie dans le sens de la pente. L'écartement intérieur des champignons des rails est de 1,20 *m*.

La crémaillère du système Riggenbach est placée dans le milieu de la voie. Les fers qui la composent ont 0,18 *m* de hauteur et ont leurs rebords inégaux, le plus large portant sur la traverse. Les dents, écartées de 0,10 *m* de centre en centre, sont fixées dans les fers latéraux par deux parties tournées au diamètre de 35 *mm* et tronquées sur 10 *mm* de hauteur pour les empêcher de tourner ; les dents, à section trapezoïdale, ont 32 *mm* de hauteur et des bases de 29 et 42 *mm*.

Le croisement s'opère par deux déviations symétriques, sans pièces mobiles. Les roues de chaque voiture ont d'un côté de l'essieu des gor-

ges et de l'autre des jantes plates. Le croisement se fait automatiquement, les roues à gorge suivent le rail extérieur continu qui les guide et les roues à jante plate passent sur les coupures de la voie. Cette disposition est d'ailleurs connue et employée déjà sur divers funiculaires. Les voitures sont automotrices ; elles sont disposées de telle sorte que le plancher est horizontal sur une déclivité de 10 0/0. L'écartement des essieux est de 1,72 *m*. Les roues ne sont pas calées sur les essieux, ceux-ci portent au milieu une roue dentée en acier fondu, de 18 dents qui engrène avec la crémaillère. Chaque roue est actionnée par un électro-moteur à courant continu pouvant développer au maximum 30 *ch* sous une tension moyenne de 500 volts. Ces moteurs sont à suspension élastique ; l'axe de l'induit porte une poulie à frein et une roue à rochet de 9 dents, laquelle engrène avec une autre roue de 60 dents calée sur un arbre auxiliaire ; sur ce même arbre est calée une roue de 25 dents engrenant, elle aussi, avec une roue de 40 dents calée sur l'essieu de la voiture et actionnant la roue dentée de la crémaillère. A chaque électro-moteur correspond une caisse de résistance placée sur le toit de la voiture et un rhéostat régulateur placé sous le plancher.

La prise de courant se fait au moyen d'un trolley. La descente s'opère par la gravité, les moteurs font frein en se transformant en générateurs de courant. Les régulateurs en variant les résistances règlent à volonté la vitesse de la descente. En dehors de ce système de frein qui sert exclusivement à la descente, la voiture porte deux freins à main ; l'un est constitué par des sabots pouvant serrer des poulies calées sur les essieux de la voiture et calant par conséquent les roues dentées engrenant avec la crémaillère. Ces sabots peuvent être arrosés avec de l'eau contenue dans un réservoir placé sous les banquettes.

L'autre frein est constitué par une bande d'acier s'appliquant sur la poulie calée sur l'axe du moteur et dont il a été question ci-dessus.

La caisse de la voiture comprend un compartiment central et deux plates-formes fermées, le tout pouvant recevoir 30 personnes. A chaque extrémité est une plate-forme ouverte et plus petite, l'une pour le machiniste et l'autre pour le garde-frein. L'éclairage se fait par un courant dérivé du courant principal.

Les conducteurs aériens sont formés de deux fils de cuivre du diamètre de 8 *mm*, suspendus, avec double isolation, à des consoles portées par des colonnes en fer à 4,50 *m*, au-dessus du niveau des rails. Chaque fil sert pour une des deux voitures qui peuvent se trouver simultanément sur la voie. Le courant continu vient par un câble spécial de l'usine électrique de Gênes, à la tension de 550 volts. Le retour du courant s'opère par les rails.

Le service se fait avec deux voitures qui partent ensemble des deux extrémités de la ligne et se croisent au milieu. Les courses se succèdent à des intervalles de 20 minutes. En cas d'accident à une des voitures, on fait le service avec une seule avec un plus grand intervalle entre les courses.

Le parcours simple s'effectue en 14 minutes, y compris le temps nécessaire pour deux arrêts réguliers, l'un au croisement, l'autre à proximité du passage à niveau de San Rocco. La vitesse moyenne ressort à 5,5 *km* à l'heure, la vitesse maxima que le frein électrique ne permet pas de

dépasser à la descente est de 8 *km*. En cas d'urgence, l'arrêt, à cette dernière vitesse, peut être effectué sur une longueur de 1 *m*.

Le personnel se compose d'un machiniste et d'un garde-frein. Le premier, qui se tient sur la plate-forme avant, a sous la main le régulateur du courant, le frein électrique, les freins d'avant à sabots et à bande. Le garde-frein qui fait aussi fonction de conducteur, se tient sur la plate-forme arrière et peut manœuvrer, en cas de besoin, les freins d'arrière à sabots et à bande. Les deux agents communiquent ensemble par le moyen d'une cloche à la portée de chacun.

Le matériel électrique des voitures a été fourni par la Compagnie de l'Industrie Electrique de Genève, les voitures par la maison Diatto frères, de Turin et la crémaillère et le croisement par les usines de Roll en Suisse.

Une distribution d'eau pour une très petite localité. — Nous trouvons dans l'*Engineering News* un intéressant exemple de distribution d'eau pour une très petite localité.

Trotwood est un village du comté de Montgomery, dans l'Ohio, qui, d'après le recensement de 1900, compte 214 habitants. Un incendie désastreux, survenu en 1898, a conduit à l'établissement d'une distribution d'eau dans cette localité qui se trouve être la plus petite de l'État qui soit pourvu d'une installation de ce genre, laquelle a été faite en 1899. Elle avait été établie en vue de la protection contre l'incendie, mais on emploie actuellement l'eau à tous les usages.

Comme le village n'est pas reconnu comme corporation, il ne pouvait pas faire les travaux lui-même, ni traiter avec une Compagnie. On a tourné la difficulté en constituant une Société formée de presque tous les habitants du village, lesquels ont souscrit des actions de 200 *f* pour faire un capital de 15 500 *f* montant de l'estimation. Les conduites ont été placées sous le sol des chemins et routes, en vertu d'une simple tolérance et sans autorisation formelle de la part des autorités du comté.

L'eau est fournie par deux puits de 0,20 *m* de diamètre, foncés à 8 *m* de profondeur à travers la glaise et dans un lit de gravier. Le niveau se trouve à 3,60 *m* au-dessous du sol et il ne baisse que très peu lorsqu'on pompe à raison de 400 *l* par minute, ce qui indique une alimentation largement suffisante. L'eau est pompée directement des puits par une pompe verticale à deux corps, actionnée par un moteur à gazoline et élevée dans un réservoir horizontal. L'ensemble, puits, appareils mécaniques et réservoir, est installé dans un petit bâtiment en pierres, situé à l'extrémité du village.

La pompe est munie d'un dispositif qui lui permet d'aspirer une certaine quantité d'air avec l'eau et de refouler cet air sous pression dans le réservoir ; c'est la pression de cet air sur l'eau qui opère la distribution de celle-ci.

Les corps de pompe ont 125×305 *mm* et donnent 600 à 700 m^3 par 24 heures, sous une pression de 3 à 4 *kg* par centimètre carré.

Le réservoir a 7,20 *m* de longueur sur 1,525 *m* de diamètre et contient 15 000 *l*. Il est muni d'un robinet pour régler la pression de l'air sur l'eau.

Il y a 5400 *m* de tuyaux de 0,10 et 0,125 *m* de diamètre, avec 9 bouches d'incendie ; de plus 22 prises d'eau de service, dont 16 pour arrosage. Environ 75 0/0 de l'eau sont utilisés par les particuliers. Il n'y a nulle part de compteurs.

La pression au réservoir étant de 5,5 *kg*; elle peut tomber à 2,8 *kg* sans qu'on ait besoin de faire agir la pompe. Celle-ci ne fonctionne qu'une fois par jour et encore pendant peu de temps.

En somme, le village de Trotwood a acquis un service d'eau qui lui donne une sécurité très sérieuse contre l'incendie, et des avantages importants comme hygiène et commodité, à un prix extrêmement modéré ; il a donné un exemple qui pourrait être utilement suivi par bien des petites localités.

La ventilation spontanée à travers les murs des pièces habitées. — Tous les hygiénistes connaissent les expériences faites à la fin de 1878, par Flügge sur la quantité d'air qui traverse les parois d'une chambre et donne lieu à ce qu'on a appelé la ventilation spontanée. A la suite de ces expériences, il a été admis que, pour des petites pièces à parois peu perméables, le renouvellement de l'air s'effectue à raison de 0,077 du volume de la pièce par heure et par degré de différence entre les températures extérieure et intérieure. Sur cette base, on trouve que, pour une différence de 14°, le renouvellement de l'air s'effectue intégralement en une heure.

H. Wolpert a voulu vérifier l'exactitude du coefficient ci-dessus en déterminant d'heure en heure la proportion d'acide carbonique contenue dans l'atmosphère d'une chambre vide, la diminution constatée permettant d'établir l'activité de la rentrée de l'air du dehors en dedans.

Pour des pièces de 60 m^3 de capacité, avec des murs en maçonnerie recouverte de papier, le coefficient horaire de renouvellement, constaté par Wolpert, est de 0,025 par degré de différence de température et par heure, cette différence étant de 12,6°. Pour des pièces à parois vernies à l'huile, le coefficient s'abaisse à 0,017 et il s'élève à 0,053 pour des murs simplement blanchis à la chaux.

Ces chiffres sont très intéressants pour leur valeur relative. On y trouve un nouveau motif de proscription de l'emploi du papier condamné déjà par l'hygiène pour d'autres raisons.

La valeur absolue doit inspirer moins de confiance, parce que beaucoup d'influences entrent en jeu, l'épaisseur des murs, la qualité de la maçonnerie, les rapports entre les surfaces exposées à l'extérieur et le volume, l'exposition au vent, le degré d'humidité, etc., et peuvent modifier les résultats dans une large mesure.

Nous avons trouvé le renseignement sans indication d'origine dans le *Giornale del Genio Civile.*

Le navire aérien Zeppelin. — Au moment où les essais de ballons dirigeables attirent vivement l'attention, il nous paraît d'autant plus intéressant de rappeler les tentatives faites l'année dernière par le comte Zeppelin au lac de Constance, tentatives qui semblent être peu

connues chez nous (1), qu'on y trouve des enseignements très utiles pour la question.

Nous donnons ici, d'après l'*Engineering News* le résumé d'un article publié récemment dans le *Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur und Architekten Verein* par le capitaine Hermann Hoerner et contenant une description très complète du navire aérien Zeppelin et des trois essais qui en ont été faits.

L'appareil a la forme d'un long cylindre, terminé par des extrémités ogivales. La section transversale est un polygone de 24 côtés. La carcasse en aluminium à 128 *m* de longueur, 11,3 de diamètre inscrit et 11,66 de diamètre circonscrit. La capacité du ballon est de 11 300 m^3, c'est la plus grande qui ait été réalisée jusqu'ici. La charpente se compose de 16 membrures à 24 pans, dont les côtés sont formés de barres en treillis de 0,18 *m* de hauteur. Ces polygones sont renforcés par des tiges partant des sommets et venant s'attacher tangentiellement à un cercle de 1 *m* de diamètre. Les pièces longitudinales qui réunissent les membrures sont également en forme de treillis et sont renforcées tous les 0,80 *m* par des brides en aluminium.

Au delà des membrures extrêmes, les pièces longitudinales s'infléchissent graduellement pour se réunir aux extrémités. La charpente en aluminium est recouverte, à l'intérieur et à l'extérieur, d'un filet de corde de ramie à mailles de 0,20 à 0,25 *m*.

Les membrures forment 17 compartiments, dans chacun desquels est placé un ballon indépendant qu'on remplissait d'hydrogène avant les essais. Ces compartiments ont chacun 8 *m* de longueur, excepté ceux qui sont directement au-dessus des deux nacelles qui n'ont que 4 *m* de longueur.

Les enveloppes des ballons sont rendues imperméables à l'air, au moyen d'une préparation appelée *ballonine*, inventée par un aéronaute finois du nom de Lievendahl. Chaque ballon est muni d'une soupape de sûreté automatique et cinq d'entre eux de soupapes qui peuvent être manœuvrées par des cordes depuis les nacelles. L'enveloppe extérieure de la carcasse n'est pas imperméable à l'air ; elle sert seulement à constituer une surface lisse offrant peu de résistance à l'air et protégeant les ballons contre les influences atmosphériques. Cette enveloppe est constituée par deux parties, une intérieure formée d'étoffe de soie très légère et une extérieure qui est en étoffe imperméable à l'eau.

Les deux nacelles ou plates-formes sont en aluminium ; elles ont 6 à 7 *m* de longueur sur 1,80 *m* de largeur et 1 *m* d'épaisseur. Elles pèsent 220 *kg* et forment un double fond, pouvant contenir un lest d'eau. Ces plates-formes sont suspendues à 2 ou 3 *m* au-dessous du corps du navire, par des tubes d'aluminium, et se trouvent chacune à une distance de 34 *m* de l'extrémité correspondante du corps du ballon. Sous celui-ci est disposée une poutre en treillis en aluminium de 60 *m* de longueur et 1 *m* de hauteur, pour augmenter la rigidité longitudinale de ce corps.

(1) Plusieurs difficultés qu'on a rencontrées dans des essais ultérieurs eussent pu être évitées, au moins en partie, par une étude attentive des détails des expériences du comte Zeppelin.

Chaque plate-forme porte un moteur à benzine de Daimler, à allumage électrique, pouvant développer 16 *ch* à 700 tours par minute. Ces moteurs pèsent chacun, avec le volant et les tuyaux de circulation d'eau, 450 *kg*, ce qui donne environ 28 *kg* par cheval. La consommation de benzine est de 0,375 *kg* par cheval-heure et, avec des réservoirs de 60 *kg*, on peut marcher dix heures. Ces moteurs ont été construits il y a deux ans et, bien qu'ils fussent supérieurs comme légèreté à ceux qui avaient été employés jusque-là pour des essais analogues, le constructeur a obtenu depuis des résultats encore plus favorables.

Chaque moteur actionne, par des engrenages et un axe muni d'un joint universel, deux hélices en aluminium, placées de chaque côté du ballon avec leur axe à 1,50 *m* environ au-dessous de l'axe de ce corps.

Ces propulseurs ont un diamètre relativement faible, 1,15 et 1,25 *m* seulement ; ils pèsent 15 *kg* chacun, ils sont à quatre branches et tournent à 1 100 tours par minute. Le lest d'eau est contenu dans deux sacs qui contiennent 200 *kg* chacun, sont placés à l'intérieur de la charpente et sont disposés de façon qu'on puisse vider 20 *kg* à la fois. Ces sacs sont placés près des extrémités ; il y en a 12 autres contenant 50 *kg* chacun et placés dans la partie centrale. En outre il y a quatre sacs contenant chacun 40 *kg* de sable mouillé, suspendus aux plates-formes.

Toutefois, le navire aérien peut être monté et descendu autrement que par le jet du lest ou la sortie d'une certaine quantité de gaz. Lorsque l'axe du corps est incliné et qu'on fait tourner les hélices, le navire monte ou descend suivant la direction de l'inclinaison. On obtient cette inclinaison à volonté, par le déplacement d'une masse de plomb en forme de cigare pesant 150 *kg*, attachée à un petit chariot qui roule sur un chemin parallèle à l'axe du ballon. Des cordes aboutissant aux nacelles permettent de varier la position de ce contrepoids.

L'appareil à gouverner a subi plusieurs modifications au cours des essais, mais au moment de la dernière ascension, il y avait trois gouvernails : un horizontal à l'avant, pour diriger le navire dans le sens vertical, c'est-à-dire vers le haut ou vers le bas ; un petit vertical à l'avant et un grand vertical à l'arrière, tous sous le corps du ballon.

Le navire aérien a été monté sur un ponton couvert établi sur le lac, de sorte qu'on pouvait le lancer dans la direction du vent. Il reposait sur une plate-forme flottante qu'on pouvait retirer pour l'essai.

La première ascension eut lieu le 2 juillet 1900, à la fin de la journée.

Le comte Zeppelin et deux assistants étaient sur la nacelle de l'avant, tandis que deux hommes se trouvaient sur celle d'arrière. Dès que le navire commença à s'élever, l'une des cordes de manœuvre fut trop tirée et le navire, au lieu de monter en conservant la position horizontale, releva considérablement l'avant. On ramena vivement le contrepoids vers l'avant, et cette partie s'abaissa d'une manière excessive ; tandis que le comte Zeppelin s'efforçait de ramener le poids vers la partie centrale, quelque pièce de la transmission vint à casser et le poids ne put être déplacé. Pendant ce temps, le navire était monté à une hauteur de 300 *m* au-dessus du lac de Constance et parcourut quelque distance contre une très légère brise. A ce moment, les cordes des gouvernails se mêlèrent et le navire fut obligé de courir devant le vent.

Dans ce premier essai, il n'y avait pas de poutre de raidissage et la carcasse du ballon montra quelques signes de flexion.

Après un vol d'environ 70 minutes, le navire redescendit ; mais en touchant le niveau du lac, il porta sur un pieu servant à indiquer un chenal et éprouva quelques avaries.

Ce premier essai fit voir la nécessité de quelques modifications, et trois mois furent employés à ces changements et aux réparations.

La seconde ascension eut lieu le 17 octobre de la même année, à la fin de la journée, et un vol heureux de près d'uue heure prit fin par l'échappement du gaz du troisième ballon, d'où il résulta une dénivellation qu'on ne put corriger au moyen du contrepoids mobile. Le navire descendit très rapidement jusqu'au niveau de l'eau, mais ne fut pas endommagé par le choc qui en résulta.

Il y eut toutefois de légères avaries qu'on mit quelques jours à réparer, et le troisième essai, le dernier, eut lieu le 21 octobre, par un temps absolument calme. Cet essai ne dura que 23 minutes, mais présenta un intérêt particulier, en ce que le navire décrivit, dans son trajet, un huit allongé et descendit à une très faible distance de son point de départ. Bien que la descente sur l'eau eût été très douce, il y eut néanmoins, encore cette fois, quelques légers dommages, et comme la saison était trop avancée, on ne fit plus d'essais cette année.

Le capitaine Hoernes critique certaines dispositions du navire Zeppelin ; d'abord la puissance motrice insuffisante, 32 *ch* seulement pour un engin de ces dimensions ; de plus, cette puissance ne parait pas avoir été employée dans les meilleures conditions, à cause du faible diamètre des propulseurs et de leur trop grand nombre d'ailes. Avec cette puissance, le navire était incapable d'avancer, même contre un vent assez faible, ce qui limitait forcément son emploi utile.

La carcasse rigide, avec ses enveloppes extérieures en soie et étoffe imperméable, rendait les descentes difficiles à accomplir sans avaries, et avec un fort vent, ces parties auraient été souvent endommagées.

Les montées et descentes rapides ne peuvent être opérées que par jet de lest ou par échappement de gaz, et ce serait peu pratique pour des parcours de longue durée.

Une autre objection est le manque de stabilité de l'appareil, dû à la grande élévation du centre de gravité.

Mais, malgré les difficultés éprouvées, on peut dire que ces essais ont été très instructifs et ont rendu de réels services à la science de l'aérostation, en indiquant la voie à suivre pour une solution heureuse du problème de la navigation aérienne.

Au moment où nous corrigeons l'épreuve de cette note, nous trouvons dans un journal suisse du 22 août, le passage suivant : « Un journal thurgovien annonce que le fameux ballon dirigeable du comte Zeppelin est complètement démonté ; le hangar Manzell sur la rive orientale du lac de Constance, où l'expérimentateur remisait son aérostat, est également démoli. Il n'y a plus sur la rive qu'un tas de poutres et de planches pour rappeler que quelque chose de grand fut tenté en cet endroit. Vraiment les courageux efforts du comte Zeppelin méritaient un meilleur sort. »

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

JUIN 1901.

Rapport de M. HIRSCH sur **la transmission à vitesse variable** de M. R. DE MONTAIS.

Ce système se compose de deux poulies extensibles sur lesquelles passe une courroie ; la particularité qui le distingue des autres appareils fondés sur le même principe, consiste dans la constitution des poulies extensibles, qui est fort ingénieuse, et rappelle la disposition de certains jouets bien connus.

La jante est formée de zigzags articulés à leurs sommets et reliés par des pivots placés au milieu de leurs branches, de sorte que l'ensemble figure une série de losanges égaux, opposés aux sommets ; si l'un s'allonge, tous les autres s'allongent de même, en restant égaux au premier. Les bras sont articulés à la jante et à deux moyeux qui peuvent, en glissant sur l'arbre, s'écarter ou se rapprocher l'un de l'autre.

Un autre dispositif ingénieux et original est le suivant : la tension de la courroie tend à écraser les poulies en écartant les moyeux mobiles. Cette tendance est combattue par des ressorts à boudin qui entourent l'arbre et agissent pour rapprocher les moyeux l'un de l'autre. Ces ressorts opèrent de manière à tendre toujours la courroie et, de plus, si on modifie, par l'action d'un levier de commande, le diamètre d'une des poulies, la courroie produit, automatiquement et au degré voulu, la modification correspondante sur le diamètre de la seconde poulie.

Ce système est assez simple et parait donner une solution pratique d'un problème difficile et présentant un sérieux intérêt, surtout pour les applications à l'automobilisme.

Rapport de M. ED. SIMON, sur l'organisation du **poste de secours,** créé au Mans par **la Compagnie d'éclairage par le gaz des villes du Mans et de Vendôme**.

Le poste de secours a été installé sur le principe suivant : permettre à toute personne étrangère à l'art médical, mais sachant lire, de secourir d'urgence un malade ou blessé réclamant des soins immédiats. A cet effet, le poste renferme les ustensiles et médicaments nécessaires pour les premiers soins ; ces ustensiles et médicaments portent des numéros correspondant aux indications portées sur des tableaux ; 18 de ces tableaux portent les instructions médicales correspondant à 105 espèces

d'accidents. Le rapport de M. Simon reproduit deux de ces tableaux, l'un donnant la liste des accidents et l'autre la liste du matériel. Ces indications peuvent être utiles à des chefs d'industrie désireux d'établir des postes de secours similaires. Cette installation très bien comprise est complétée par une voiture d'ambulance.

Étude sur **la substitution du blanc de zinc à la céruse dans la peinture à l'huile,** par MM. A. Livache et L. Potain.

Cette étude très développée conclut qu'aucune objection de principe ne s'oppose à la substitution du blanc de zinc à la céruse, substitution proposée, dès 1782, par Guyton de Morveau, et qui ne paraît pas avoir fait, jusqu'ici, malgré ses avantages nombreux et évidents, de progrès bien décisifs.

Études sur **la composition du lait et des produits de la laiterie,** par M. A. Rolet *(suite).*

Fabrication et utilisation des trames, réseaux employés pour la production des photogravures typographiques, par M. Ch. Gravier.

Pour la photogravure, on emploie actuellement un procédé américain qui consiste à placer dans la chambre noire, devant et à une petite distance de la surface sensible, un réseau quadrillé qui découpe l'image en une série de points ; ce réseau porte le nom de *trames.* Ces trames sont faites en Amérique et monopolisées par deux maisons ayant chacune une fabrication spéciale, la maison Max Levy et la maison Wolf. Dans les premières, la trame est formée de lignes parallèles tracées au diamant, sur des glaces, lignes dans lesquelles on coule un vernis noir. Il y a deux glaces qu'on colle ensemble, après les avoir superposées, de manière que les lignes de l'une soient à 45° de celles de l'autre. Une trame Max Levy 13×18 coûte 250 *f*, et une trame 36×43, environ 2 000 *f*.

Les trames de la maison Wolf coûtent environ moitié prix des précédentes ; elles sont établies par procédés photographiques au collodion sec.

La communication a pour objet de signaler un procédé plus simple pour obtenir un cliché négatif tramé, procédé basé sur l'observation suivante : il suffit, pour obtenir ce cliché, d'interposer un écran perforé entre un cliché positif et une surface sensible ; cet écran peut être simplement un bristol perforé. On peut alors obtenir un cliché positif sur lequel opérera le photograveur.

Les navires de guerre modernes, par M. L. de Chasseloup-Laubat *(suite).*

Cette partie continue l'étude des cuirassés et croiseurs français.

Notes de mécanique. — On trouve, dans ces notes, la description des aciéries de la Barow Hæmatite Steel Company et de leur

installation mécanique ; de la fabrication à la presse des plaques en métaux plastiques, système Krupp ; de la fabrication des feuilles de plomb, à la presse, par le procédé L. David ; de la locomotive à foyer ondulé Vanderbilt ; des essais sur une crapaudine à billes ; des essais de roues de vélocipèdes, d'après M. Dietrich.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

Le Gérant, Secrétaire administratif,
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 13778-7-01. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

SEPTEMBRE 1901

N° 9

SITUATION MINIÈRE ET MÉTALLURGIQUE
DU CHILI
ET AUTRES PAYS DE L'AMÉRIQUE DU SUD

PAR

M. Ch. VATTIER

Il est regrettable de constater qu'actuellement les produits miniers et métallurgiques provenant de l'Amérique du Sud sont accaparés par l'étranger, et que, même, certains métaux, par exemple le cuivre, destinés à être consommés en France, sont obligés de passer par d'autres pays, comme l'Angleterre, c'est-à-dire de souffrir de grands surcroîts de dépenses, avant d'être utilisés chez nous !

Je suis persuadé que nos usines métallurgiques de France, surtout celles situées près de la mer, trouveraient, comme l'Angleterre, l'Allemagne et les États-Unis, sur nos marchés de l'Amérique du Sud, des éléments pour leur traitements par fonte ou voie humide et pour le raffinage des métaux par les nouveaux procédés électro-métallurgiques.

Je m'occuperai d'abord du Chili, cette région du Sud américain qui, à divers points de vue, présente le plus d'intérêt.

CHILI

Ce pays, déjà bien connu en Europe, mais pas encore assez, est celui de l'Amérique du Sud qui offre aux Ingénieurs européens le plus d'attractions, le plus de sécurité et le plus d'éléments de prospérité. L'étranger y jouit des mêmes droits que les nationaux; il peut y travailler en toute liberté, sans être victime, comme dans d'autres pays, de vexations ou de n'importe quelle entrave; il peut acquérir des mines, des propriétés, des concessions, exactement au mêmes titres que les Chiliens, et enfin, il sera toujours sûr, s'il sait le mériter, de trouver le plus bienveillant accueil auprès des autorités et de tous les habitants.

Le Chili se prête admirablement à toutes les entreprises minières et industrielles : le climat y est des plus sains et des plus modérés, la vie facile, les ressources nombreuses, les ouvriers

forts et intelligents, les voies de communication par terre et par mer se développent chaque jour davantage, enfin des cours d'eau sillonnant beaucoup de régions du pays, surtout au sud et au centre, permettent les installations de très puissantes forces hydrauliques, conditions des plus intéressantes, surtout au point de vue des nouvelles applications de l'électricité.

Il est bon d'ajouter que l'ordre, maintenant inébranlable, qui existe dans le pays, et sa juste renommée de moralité administrative, y constituent les bases principales pour le succès de toute entreprise industrielle.

Mines du Chili.

Les principaux minerais exploités sont ceux de : or, argent, cuivre, manganèse et fer, ainsi qu'accidentellement de mercure, cobalt, nickel, plomb, zinc.

Parmi les substances minérales, nous y trouvons : les nitrates et borates (nitrates de soude et boracites), le sel marin, sulfates, aluns, cristal de roche, iode, soufre, plâtre, marbres, calcaires, matières réfractaires, etc.

Les combustibles *minéraux* (lignites) sont abondants et de bonne qualité dans les régions de Lota et Coronel; et ceux *végétaux* se trouvent en grande abondance dans les régions australes.

Or.

D'après le baron Humboldt, on a produit au Chili pendant le XVIIIe siècle, environ 8 800 000 onces d'or !

Actuellement, cette production est assez réduite, mais tend à reprendre une nouvelle importance.

En 1900, l'exportation des minerais et barres d'or a été :

Or en barre	1 708 787 *g* (exportés).
—	325 732 *g* (pour la monnaie).
Minerais d'or.	97 737 *kg*
— de cuivre et or .	12 057 *kg*
— d'or et d'argent.	216 995 *kg*
— de cuivre, argent et or	300 *kg*

Il faut observer que beaucoup d'or est expédié par les particuliers, sans figurer dans ces statistiques.

Argent.

Ce métal était déjà connu avant la conquête et sa production, dans les régions du nord du Chili (Province d'Atacama), a atteint son apogée il y a environ un demi-siècle.

Par suite de la forte baisse sur le prix de ce métal et de l'attention attirée vers d'autres centres de production plus lucratifs, il y a, comme pour l'or, une forte diminution sur la production, mais, quand on se décidera à rechercher les régions plus profondes des mines actuellement abandonnées, il est probable que l'ère de prospérité pour ce métal reviendra également.

On peut regarder comme un fort minimum les chiffres officiels suivants de l'exportation en 1900 :

Argent en barres. . . . . . . 45 438 478 *g* (sans compter l'argent produit par le traitement des minerais d'argent de Bolivie, dans les usines chiliennes d'Antofagasta).

Minerais d'argent.	210 832 *kg*
Sulfures d'argent.	172 080 *g*
Mattes de cuivre et d'argent. .	1 918 060 *kg*
— de cuivre, argent et or .	241 778 *kg*
— d'argent.	22 536 *kg*

Cuivre.

La richesse du Chili, en cuivre, a été proverbiale, et, il y a environ 60 ans, représentait plus du tiers de la production de ce métal dans le monde entier !

Il y a 18 à 20 ans, ce pays produisait encore plus de 40 000 *t* de cuivre par an, mais, par suite également de la forte baisse sur le prix de ce métal pendant une longue période d'années, et pour d'autres motifs trop longs à expliquer ici, la production est tombé à environ 27 000 *t* par an.

On peut affirmer qu'avec la hausse actuelle du prix du cuivre, le développement de certaines mines nouvelles et l'application de nouveaux procédés métallurgiques perfectionnés, peu à peu la production de ce métal ira en augmentant et peut-être dans de fortes proportions, surtout si on peut profiter des nombreuses forces hydrauliques du pays, pour l'emploi de l'électro-métallurgie.

En 1900, le minimum d'exportation a été :

Cuivre en barres et lingots.	20 340 000 *kg*
— aurifère.	138 720
Mattes de cuivre de 50 0/0 environ. .	4 837 912
Minerais de cuivre (de 14 à 18 0/0). .	20 212 676
Minerais de cuivre et argent.	160 271

Cobalt, Nickel.

En 1900, la production a été :

Minerais de cobalt	26 844 *kg*
— de nickel	725

Manganèse, Fer.

Pendant cette même année, on a exporté :

32 000 *t* d'oxyde de manganèse d'un titre de 50 0/0 de manganèse.

Et environ 20 000 *t* d'oxydes de fer (de 67 à 68 0/0 de fer métallique) comme flux pour la fonte des minerais d'argent à Antofogasta.

Nitrates, Iode, Borates.

En 1900, l'exportation a été :

Nitrates de soude de 97 à 98 0/0. .	1 465 935 419 *kg*
Iode	318 360
Borate de chaux (calciné).	13 176 765
Borax.	26 628

Combustibles.

On peut évaluer à 600 000 *t* la production actuelle des lignites du Chili, et sur ce chiffre, la Compagnie de Lota et Coronel seule produit environ 362 000 *t* par an.

Gisements principaux.

Or.

Anciennement, on travaillait, surtout par le lavage, les alluvions de Imperial, Valdivia, Osorno, Choapa et celles des Provinces de Coquimbo et d'Atacama, et encore actuellement des *lavaderos* du sud du Chili et du centre (Llampaico, Quillota, Catapilco, etc.).

Dans presque toutes les régions du sud et du centre du Chili, des ouvriers détachés, au moment de l'époque des pluies, lavent dans les vallées des sables aurifères, avec des rendements généralement assez faibles.

Mais c'est surtout dans les régions du centre (Talca, Petorca, Tiltil, Province de Santiago) et du nord (départements de Illapel, Huasco, Provinces d'Atacama et d'Antofogasta, etc.) qu'on travaille des filons aurifères (ceux de Guanaco, Iñca, Cachiyuyo, Capote, Andacollo, Chamuscada, Canutillo) produisant environ de 15 à 20 *g* d'or et quelquefois 30 *g* d'or à la tonne de minerais.

Argent.

Les mines d'argent anciennes les plus importantes (Chañarcillo, Tres-Puntas) se trouvent situées au nord dans la province d'Atacama ; dans cette même province et celle d'Antofogasta, on a travaillé, et on travaille encore, les mines d'argent de « Taltal », celles du département de Cheñaral (Japonesa et Florida), les riches gisements de Caracoles; plus au sud, les mines du département de Vallenar : Agua Amarga, Tunas, Viscachas, dans la province de Coquimbo : Arqueros, et dans la région centrale, les mines voisines de « San Felipe » et celles de « Las Condes » dans la province de Santiago.

On a déjà reconnu en profondeur deux régions dans la plupart de ces mines (Chañarcillo, Caracoles) jusqu'à une profondeur d'environ 700 *m*, et il y a lieu d'espérer qu'une troisième région, plus profonde, fournira de nouvelles richesses en minerais d'argent.

Cuivre.

Depuis des siècles, les mines de cuivre ont été exploitées au Chili, comme le prouvent les vestiges d'anciens fours (bas foyers) de fonte primitifs qu'on retrouve dans le sud et au centre du Chili et la présence dans des chantiers abandonnés d'outils en pierre et en cuivre des plus primitifs, employés pour l'abatage des roches.

Dernièrement à Chuquicamata, près Calama (province d'Antofagasta) en déblayant les chantiers d'une ancienne mine, on a trouvé le corps, momifié et saturé de sels de cuivre, d'un mineur tué par un éboulement, ayant à ses côtés ses outils en pierre et datant de plus de 300 ans.

La profondeur de plusieurs des mines principales de cuivre du Chili (Tamaya, Corrizal, etc.) dépasse 700 *m*, et quelques-unes actuellement, comme la « Dulcinea » (département de Copiapo) et du « Volcan » (Maïpo) sont l'objet d'exploitations par les moyens les plus perfectionnés.

Les principales mines actuellement en exploitation du sud au nord sont :

Au sud, des petites mines isolées, la plupart sans importance, mais dont quelques-unes près de la Cordillère ont de l'avenir.

Dans les provinces de Santiago et Valparaiso :

Le centre minier de « Las Condes » donnant des pyrites d'un titre élevé (20 à 25 0/0 de cuivre), les mines du « Volcan » (Maïpo), de Naltagua, Lo Aguirre, Tiltil, Lampa, etc.

Dans la province d'Aconcagua se trouvent les intéressants gisements, très abondants en minerais de cuivre de titre peu élevé, de « Catemu », travaillés actuellement par une Compagnie française, ceux de « San Felipe, Los Andes, Melon, Ligua, etc. ». La province de Coquimbo semble vouloir reprendre son ancienne importance à Illapel, Combarbala et Ovalle. C'est près d'Ovalle que se trouvent les riches mines de Tamaya, qui ont été les plus productives du Chili, surtout en minerais de titres élevés. Je citerai également celles de la « Higuera », momentanément arrêtées en partie à cause de manque de moyens suffisants d'exhaure, celles de « Tambillo, Andacollo, Panulcillo, Punitaqui »

La province d'Atacama est celle qui, actuellement, présente le plus d'éléments de production et qui a le plus d'avenir. Dans les départements de Vallenar et de Freirina, on rencontre les mines de « Camarones, San Antonio » et celles de « Carrizal, Los Jarillas, Astillas » ainsi que la riche mine de « Fraguita » (Santa Rosa).

Il serait trop long de citer toutes les mines importantes du département de Copiapo, comme celles de « Puquios, Nantojo, Tierra Amarilla, San Antonio » et la fameuse mine « Dulcinea » d'une Compagnie anglaise. Dans le département de « Chañaral » se trouvent deux groupes : 1° celui de « Chañaral de Animas » avec les anciennes mines, en décadence aujourd'hui, de « Fortunata, Helena, Placeres, etc.; 2° celui de « Salado » et « Pueblo Hundido » où existent les riches et abondantes mines de cuivre dans gangues d'oxydes de fer de « Carmen » et « Tres Gracias ». Avec les nouvelles lignes de chemins de fer en construction,

d'autres mines de cette région du désert, comme « San Pedro de Cachiyuyo, Potrero Seco » sont appelées à un grand avenir.

La province d'Antofagasta prend également chaque jour plus d'importance :

Dans le département de Taltal, nous trouvons la puissante mine « Esploradora » et celles de grand avenir de « Paposo ». Celles du « Guanaco » présentent la particularité qu'à une certaine profondeur les minerais d'or ont été remplacés par des minerais de cuivre.

On a travaillé dernièrement avec une certaine activité le centre minier de « Chuquicamata » (près Calama) présentant à la surface des *bancs* d'oxychlorure de cuivre (Atacamite) de bas titre dans une gangue argileuse, qu'on enrichit par un simple tamisage, et possédant des filons réels riches en minerais massifs. Dans ces mêmes régions, en allant vers la frontière bolivienne, se trouvent les centres miniers de « Sierra Gorda, Chiu-Chiu, Conchi, etc. »

Dans le département de « Tocopilla », on continue à exploiter sur une grande échelle les mines de cuivre de « Cobija » et « Tocopilla » et ces exploitations se continuent jusqu'à « Arica ».

Les titres des minerais de cuivre exploités sont très variables : à « Catemu » par exemple, où on les traite sur place, le titre moyen des minerais ne dépasse guère 5 à 6 0/0 tandis qu'à la « Dulcinea » on exploite par mois environ 1 500 *t* de minerais de cuivre de 18 à 20 0/0.

Le titre moyen des minerais vendus aux usines de fonte au centre du Chili ne dépasse guère 10 à 11 0/0, et au nord de 12 à 13 0/0.

Autres métaux.

Les minerais de cobalt et nickel se trouvent au nord du Huasco. Ceux de manganèse sont surtout exploités près d'Ovalle (Corral Quemado), dans le département d'Elqui (mines de Naranjo) et de Carrizal (Coquimbana, etc.).

Les minerais de fer se rencontrent très purs et très abondants dans tout le Chili, surtout près de Santiago, dans les provinces de Coquimbo et d'Atacama.

Le mercure a été exploité, mais avec d'assez mauvais résultats, près de Andacollo et de Punitaqui. Le plomb, assez rare, se trouve surtout accidentellement mêlé aux minerais d'argent, ainsi que le zinc.

Substances minérales.

Les salpêtres sont surtout exploités et traités sur place dans la province de Tarapaca à Iquique, « Toco », etc. On en exploite également dans le département de Taltal (Compagnie Française du « Lautaro ») et près de Antofogasta (La Central, Aguas Blancas, etc.).

Les boracites sont exploitées à « Ascotan », près de la ligne du chemin de fer d'Antofogasta à Oruro et on se prépare à exploiter les riches et abondants gisements de « Maricunga » et « Pedernal » de la province d'Atacama.

Le plâtre se rencontre à « Tiltil » (province de Santiago) et très pur près de Vallenar, où il est l'objet d'une sérieuse exploitation.

Des marbres, d'assez bonne qualité, se rencontrent à « Camarones » dans le département de Vallenar.

Le soufre existe à l'état natif à Tirigingica (au sud), près d'Antofogasta, à Ascotan, à Maricungas, aux Baños del toro (Elqui) et sur beaucoup de points du Chili. C'est surtout sous forme de pyrites qu'il est destiné à prendre de l'importance pour la fabrication de l'acide sulfurique, et dans la province de Coquimbo, près de Quile à « Reten », on trouve de puissants filons de pyrites de fer contenant une certaine quantité de cuivre.

Le sel se trouve dans de grands lacs desséchés comme à « Maricunga » et est aussi produit sur la côte.

Quant aux combustibles minéraux (lignites) c'est surtout dans la région comprise entre Concepcion et « Lebu » qu'ils sont exploités (mines de Lota, Coronel, Arauco, Lebu, etc.).

On a reconnu plusieurs affleurements plus au sud et on s'occupe sérieusement en ce moment d'installer des exploitations de lignites à la *Terre de feu*, ainsi qu'à la presqu'île de Brunswick et autres endroits situés près du détroit de Magellan.

Les nombreuses forêts vierges de la région australe vers le 43° de latitude, peuvent fournir un excellent charbon de bois pour la sidérurgie.

J'ai décrit ces régions des combustibles minéraux et végétaux dans des ouvrages spéciaux qu'on peut consulter à la bibliothèque de la Société des Ingénieurs civils (1).

(1) *L'Avenir de la Métallurgie du fer au Chili*, par M. Ch. VATTIER, et ***Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils***, juillet 1892.

L'exploitation des mines au Chili est généralement rudimentaire dans beaucoup de centres miniers ou la propriété minière est très subdivisée et où les habitants manquent de ressources pour bien préparer les mines et entreprendre des travaux sérieux. Pour ces petits mineurs, les travaux consistent en simples descenderies *(chiflones)* en suivant l'inclinaison des couches ou des filons qu'ils poursuivent, tant qu'ils trouvent quelques taches de minerais, et abandonnent généralement quand le minerai disparaît ou quand ils se trouvent en présence de réelles difficultés d'exhaure ou de ventilation.

Souvent aussi des mineurs isolés et travaillant pour leur compte, prennent l'entreprise de l'exploitation de certaines mines (ce qu'on appelle le *pirquen)* dans lesquels les propriétaires ne cherchent qu'un profit immédiat, et ce genre d'entreprises, sans méthode ni prévision, est la cause principale de la décadence de beaucoup de régions minières.

Dans quelques centres miniers, au contraire, les exploitations sont aussi bien conduites qu'en Europe ou aux États-Unis, et on y dispose du matériel le plus complet et le plus perfectionné.

Les explosifs les plus employés actuellement sont la poudre ordinaire de mines, fabriquée dans le pays et la dynamite provenant d'Europe.

Les ouvriers chiliens sont très bons mineurs, surtout quand il s'agit de travaux à la tâche, et il est difficile, sauf des cas exceptionnels, de les remplacer par des ouvriers mineurs européens.

Métallurgie au Chili.

Les conditions générales du pays sont favorables à l'implantation de beaucoup de procédés métallurgiques employés dans d'autres pays et il est facile de former des ouvriers chiliens capables d'exécuter les travaux les plus durs et exigeant le plus d'intelligence.

Il faut néanmoins avoir en vue que les combustibles minéraux (lignites du pays, houilles d'Australie et d'Angleterre (cokes anglais) y sont relativement chers et, pour le moment, il ne faut guère compter sur beaucoup de réactifs chimiques, faciles et économiques à obtenir en Europe.

MÉTALLURGIE DE L'OR.

En dehors de la concentration de l'or dans des mattes de cuivre ou de cuivre et argent, obtenue par la fonte de minerais dans lesquels l'or n'entre que comme élément secondaire, la métallurgie de l'or au Chili se réduit généralement à une simple amalgamation plus ou moins primitive.

Certaines petites usines, comme celle de « Alhué » (près de Melipilla), et celles du « Guanaco » (près Taltal), ont cependant introduit quelques perfectionnements.

L'emploi du cyanure de potassium, soit à cause de la composition des minerais, soit par la faute de ceux qui ont voulu l'utiliser, n'a, jusqu'ici, donné aucun résultat.

J'ai eu l'occasion, dans une récente excursion dans le nord du Chili, de visiter une exploitation et traitement de minerais d'or à « Canutillo » (département de Freirina) qui donnent de bons résultats. A environ 150 *m* de profondeur, sur une largeur moyenne de filon d'environ 0,60 *m*, cent ouvriers exploitent par mois 280 à 300 *t* de minerais d'or de 28 à 35 *g* à la tonne. L'or s'y rencontre à l'état libre et dans des mouches de pyrites de fer dans une gangue quartzeuse mêlée à de l'hydrate d'oxyde de fer.

L'usine se compose simplement d'une machine à casser *Blake* pour réduire les gros blocs en morceaux de la grosseur d'une noix, de deux pilons en fer mus directement par la vapeur et pulvérisant le minerai dans un bain de mercure, d'une poche recueillant le mercure entraîné, et de deux planches de cuivre amalgamé pour retenir les particules d'or amalgamé. Les boues ou *tailings* passent sur deux appareils de concentration *frue-vanners*, où elles déposent les parties pyriteuses et autres composés de l'or qui ont échappé à l'amalgamation.

Une machine à vapeur de la force de 15 *ch* donne le mouvement à ces appareils et aux pompes.

L'amalgame d'or est filtré, comprimé et distillé ; l'or produit est raffiné dans des creusets de plombagine.

On produit ainsi par mois environ 10 *kg* d'or en barres et une certaine quantité de *concentrés* d'un titre de 90 à 100 *g* d'or à la tonne, qui sont envoyés en Europe.

Il convient, surtout pour l'or, de commencer toute installation métallurgique sur une très petite échelle et de ne la développer qu'au fur et à mesure du développement même des mines, et

cette petite usine de « Canutillo », appartenant à une Compagnie anglaise, peut servir comme modèle d'installation de ce genre.

Pour le lavage de sables aurifères, on n'a fait, jusqu'ici, que des essais assez malheureux à « Quilpue », « Catapilco », etc. Avant de se lancer dans des essais de ce genre, il convient de bien s'assurer qu'on ne manquera pas d'eau !

Peut-être serait-il intéressant, pour le traitement de minerais de filons, d'essayer la cyanuration combinée avec des moyens électriques et même avec la concentration mécanique ?

Dans quelques régions, la présence de pyrites de fer aurifères (qu'on grillerait préalablement) et de minerais cuivreux permettra une fonte avantageuse pour les mattes de cuivre aurifères et, dans ce cas, on utiliserait le *sélecteur* David pour réunir l'or dans un *bottom* de cuivre aurifère.

Métallurgie de l'Argent.

Depuis trente ans on a introduit au Chili de nombreux perfectionnements dans les procédés primitifs de la simple amalgamation dans des cuves à fond de fer, en les remplaçant par le procédé dit de *kronke*, qui consiste à employer de grands tonneaux mobiles contenant un mélange de sel et de sulfate de cuivre et d'amalgames spéciaux, en s'aidant de la vapeur.

Ce procédé est applicable aux chlorures et sulfures d'argent et même à quelques polybasites ; il fonctionne dans les départements de *Copiapo* et de *Taltal.*

A Antofagasta (comme surtout en Bolivie), pour le traitement de tétraédrites d'argent, et même de blendes argentifères, on a employé, dans l'usine de « Playa Blanca », le procédé de *Frank*, c'est-à-dire : broyage des minerais, grillage avec sel marin et amalgamation dans des cuves fixes à fond de cuivre et à bras mobiles en cuivre, sous l'influence de la vapeur d'eau.

On essaye en ce moment, dans la province d'Antofagasta, les procédés *Rossel* par la voie humide (grillage, dissolution dans hyposulfite de soude et précipitation de l'argent à l'état de sulfure) qui ont donné de bons résultats en Bolivie.

Mais, actuellement, la plus grande partie de l'argent du Chili est obtenue par la fonte, parce que les minerais généralement exploités (polybasites, galènes, blendes, tétraédrites, etc.), donnent trop de pertes à l'amalgamation.

On fond les minerais d'argent avec des minerais de plomb, plus ou moins argentifères, pour obtenir des plombs argentifères d'environ 1 0/0 d'argent; on nettoie ces plombs argentifères dans des chaudières en fer et on les concentre jusqu'à un titre de 20 à 25 0/0 d'argent; on coupelle ces plombs concentrés et on raffine ensuite l'argent brut obtenu.

Les fours employés sont des fours à manche à Water-Jacket, généralement circulaires, avec creuset intérieur faisant siphon extérieurement. L'air est fourni par insufflation d'air par des ventilateurs *Root* ou *Backer*.

Le coke, provenant d'Angleterre, est le combustible employé.

Il faut généralement, à cause des gangues quartzeuses, ajouter des flux ou fondants, consistant en oxydes de fer ou carbonates de chaux, plus ou moins stériles en argent.

A cause de la rareté du plomb, il faut repasser dans les lits de fusion les litharges provenant de la coupellation.

Comme produits accessoires, on obtient une certaine quantité de *mattes* et *speiss*, qu'on grille et refond de nouveau dans des conditions spéciales, et qui sont ensuite envoyées en Europe, soit sous forme de *mattes*, soit sous forme de barres de cuivre argentifères et aurifères, produites aux convertisseurs.

La coupellation des plombs argentifères est faite dans des fours anglais à sole mobile.

Les usines métallurgiques d'argent, actuellement en activité, sont, du sud au nord :

Dans la province de Santiago, région de « la Condes » : usine d'amalgamation et fonte de « San-Enrique », d'amalgamation de « Montaner », de « Maitenes » (fonte pour cuivre et argent avec emploi des convertisseurs).

Quelques petites usines d'amalgamation dans les provinces d'Aconcagua et de Coquimbo (San-Felipe, Marqueza, Pelicano).

Près de la Serena, usine de fonte de la « Compania ».

Dans le département de Vallenar : petites usines de « Camarones », « Vizcachas ».

Dans le département de Copiapo, en plus de nombreuses usines d'amalgamation (Chimba, Totoralillo, etc.), existe l'importante usine de fonte de « Tierra Amarilla ».

A Taltal, on trouve d'importantes usines d'amalgamation presquecomplètement arrêtées actuellement.

C'est dans le port d'Antofagasta qu'on rencontre les principales

usines de fonte pour minerais d'argent (et de cuivre) provenant de divers points du Chili et surtout de Bolivie.

L'usine de « Bella-Vista » appartient à la maison Templeman et a des agents pour l'achat des minerais dans les principaux centres miniers de Chili et de Bolivie.

L'usine de « Playa Blanca » (installation immense pour amalgamation et fonte qui a coûté plus de six millions de piastres), appartient à la Compagnie de Huanchaca, et est louée actuellement aux métallurgistes de l'Amérique du Nord, MM. Guggenheim's Sons.

Plus au nord, à Iquique (« Cavancha » et « Beneficiadora ») on trouve deux usines d'amalgamation traitant surtout les minerais des mines de « Huantajaya ». Il convient d'appeler l'attention des métallurgistes français sur l'avantage qu'il y aurait à trouver un procédé pratique pour traiter les blendes argentifères de la Compagnie de Huanchaca (2 *kg* d'argent à la tonne et 20 0/0 à 25 0/0 de zinc), qu'on est réduit actuellement à traiter soit par grillage avec sel et amalgamation, avec perte de 30 0/0 de l'argent, soit par fonte, en les mêlant, dans de très faibles proportions, avec d'autres minerais. Les procédés de Broken-Hill (Australie) et voie humide n'ont donné aucun résultat.

Pour le traitement en général des minerais d'argent au Chili il convient aussi d'appeler l'attention des métallurgistes sur l'importance que pourront prendre les procédés de la voie humide et les applications de l'électricité.

Métallurgie du Cuivre.

Anciennement on ne traitait au Chili, dans des bas-foyers au charbon de bois, que les minerais de cuivre oxydés, et on rejetait aux « haldes » *(desmontes)* tous les sulfures, même riches en cuivre. C'est seulement en 1840 que l'Ingénieur français Lambert a fait connaître l'importance de ces sulfures *(bronces)*, qui ont constitué, depuis lors, l'élément principal de la production. Actuellement ou emploie deux procédés, dont le premier est jusqu'ici de réelle importance : La voie ignée et la voie humide.

Voie ignée ou fonte.

Il faut distinguer la fonte aux fours à réverbère et celle aux fours à manche.

Fonte aux fours à réverbère. — Ce sont des fours généralement à une seule sole et pareils à ceux de la Province de Galles. Quelquefois on grille préalablement les minerais en tas ou en cases.

Le combustible généralement employé est du charbon de terre, soit du pays, soit d'Australie et d'Angleterre.

Ce charbon d'Australie (étiquette verte) se vend généralement sur la côte au prix de 27 à 28 shillings la tonne, mais actuellement coûte 36 à 37 shillings.

Dans quelques régions du centre et du sud on emploie le bois comme combustible, mais il devient de plus en plus rare.

De cette fonte à premier feu résultent des mattes de cuivre, d'un titre moyen d'environ 50 0/0, lesquelles sont vendues aux grandes usines métallurgiques de Lota et de Guayacau, ou expédiées en Europe, ou transformées en barres de cuivre de 96 à 98 0/0, et même en lingots de cuivre raffiné.

La transformation des mattes en barres se fait généralement en broyant ces mattes dans des cylindres, les grillant à *mort* dans des fours à réverbère et les repassant dans des fours à réverbère avec des minerais oxydés pour arriver à la matte blanche et au cuivre métallique.

Quelques usines comme : « Lota », « Maitenes » et le « Volcan » transforment directement ces mattes en barres de cuivre dans des convertisseurs David-Manhès que j'ai introduits au Chili, il y a 18 ans.

Fonte aux fours à manche. — Les minerais de cuivre en morceaux, et les menus agglomérés, sont fondus dans des fours à Water-Jacket cylindriques ou rectangulaires, avec ou sans avant-creuset.

Cette première fonte donne également des mattes de 50 0/0 qui suivent les mêmes phases de traitement que celles obtenues aux fours à réverbère.

Le combustible employé est le coke (quelquefois l'anthracite des États-Unis) provenant généralement d'Angleterre et coûtant en ce moment : 60 shilling la tonne sur la cote du Chili (avant il ne coûtait que 40 à 45 shillings la tonne).

Les scories des fours à manche sont généralement plus pauvres que celle des fours à réverbère, mais les avantages réciproques des deux procédés sont discutables et dépendent surtout de la situation des localités, de la nature des minerais, etc.

Voie humide.

Jusqu'ici on a fait très peu de progrès pratiques au Chili pour les applications de la voie humide.

Sur quelques points, comme à « Andacollo » et dans quelques mines anciennes, on a profité de l'oxydation des sulfures des *haldes* et d'anciens chantiers, pour dissoudre dans l'eau le sulfate de cuivre formé et en précipiter le cuivre par le fer métallique.

On a généralement échoué dans l'application, tant du procédé Hunt et Douglas (perchlorures de fer) et autres similaires, que des procédés électro-métallurgiques.

Quoiqu'il soit d'une extrême importance de continuer des recherches dans ce sens, importance qui est manifestée par la continuelle demande au Chili de brevets pour de nouveaux ou soi-disant tels procédés par voie humide, il convient de mettre en garde les inventeurs contre les difficultés que présentent, en général, pour ce traitement. les minerais de cuivre du Chili.

Dans une grande usine, il faut s'alimenter avec des minerais provenant d'un grand nombre de mines diverses et il est impossible d'arriver, sur les aires de l'usine, à séparer pratiquement les minerais oxydés des minerais sulfurés. Souvent même, dans un même morceau de minerai, les taches métalliques sont à la fois oxydées et sulfurées, c'est-à-dire en partie rebelles au traitement par les bains acides ou autres, qui ne dissolvent généralement que les parties oxydées.

Il est vrai que, comme pour les sulfures, on pourrait avoir recours au grillage, mais alors on perd ainsi les plus réels avantages de la voie humide.

Les autres inconvénients de la voie humide sont les suivants:

Dépenses de broyage en grains ou poudre, surtout quand on ne dispose pas de force motrice hydraulique;

Destruction des acides ou sels des bains de dissolution par les carbonates ou bases contenus dans les gangues des minerais;

Difficultés de filtration ou décantation des gangues argileuses;

Prix souvent élevés des réactifs de dissolution et même des éléments de précipitation;

Nécessité d'avoir un personnel pratique et très soigneux pour conduire les opérations.

L'application de l'électricité, soit pour l'électrolyse des minerais, mattes et cuivre métallique, et sa séparation d'autres métaux, soit pour remplacer, en partie au moins, le combustible,

est appelée, au Chili, à rendre de grands services, grâce aux nombreuses et puissantes forces hydrauliques de certaines régions.

La concentration mécanique des minerais de cuivre n'a donné quelques résultats que pour un simple *dégrossissage* du minerai et dans le voisinage d'usines de fonte.

Les difficultés et inconvénients du lavage de ces minerais sont très grands.

Il serait trop long d'essayer de décrire ici les nombreuses usines métallurgiques de cuivre du Chili; je me contenterai de signaler les principales, du sud au nord :

A « Lota », existe la plus grande usine de traitement des minerais et mattes de cuivre du Chili, produisant de 6 000 à 10 000 *t* de cuivre par an.

Tous les minerais et les mattes sont achetés sur la côte du Chili, et les mêmes vapeurs qui portent au nord les lignites de Lota, rapportent les minerais recueillis dans les ports. Le combustible employé est le charbon de Lota même, en profitant surtout des menus.

La fonte pour mattes se fait dans des fours à réverbère et leur conversion en barres de cuivre se fait, partie dans des fours à réverbère, après broyage et grillage, partie dans des convertisseurs David-Manhès.

Dans quelques petites usines du sud, on rencontre des fours à réverbère, au bois, où on produit des mattes et même de la barre de cuivre.

Dans les provinces de Santiago et Valparaiso, cette industrie prend un certain développement :

Au « Volcan » (Maïpo) existe une usine modèle avec tous les perfectionnements les plus modernes ;

A « Maïtenes » (Condes), usine de fonte et de conversion ;

A « Naltagua, Tiltil », plusieurs fours à manche ;

Dans la province d'Aconcagua, à « Catemu », une Compagnie française installe de grandes usines métallurgiques pour y fondre les minerais abondants et de titres peu élevés.

On trouve également des fours à réverbère et à manche à : « San-Felipe », « Los Andes », « Nogales », « Melon », « Ligua », « Petorca », « Llai-llai ».

Dans la province de Coquimbo ces usines sont importantes :

A « Illapel » et « Combarbala », fours à réverbère au bois et charbon de terre ;

A « Panulcillo », grande usine de fours à manche d'une Compagnie anglaise;

A Guayacan, traitement pareil à celui de Lota, avec du charbon provenant des mines de Lebu (sud du Chili);

A « Tongoi », usine de fours à réverbère qui fondait surtout les minerais de « Tamaya ».

Dans le département de la Serena, sont les fours de la « Higuera » et de la grande usine de « Lambert », où on produit aussi du sulfate de cuivre par lixiviation de pyrites grillées.

Dans la province d'Atacama, le progrès se fait aussi sentir :

Au port de Huasco : fours à réverbère de « Astilleros » ;

A « Canto de Agua » : fours à manche ;

Fours à réverbère et à manche près Vallenar : « Camarones, Vizcachais ».

Dans le département de Copiapo : usines de « Tierra Amarilla », « Nantojo », etc.

Dans le port de Chanaral : fours à réverbère (4 en marche).

La province d'Antofagasta nous offre :

Les usines « Playa Blanca » et « Bella Vista » au port d'Antofagasta ;

A « Chuquicamata » on essaye des procédés de concentration mécanique et de traitement par voie humide appliqués aux oxychlorures de cuivre de la région.

Plus au nord, à « Cobija », « Tocopilla » et « Arica » : fours à réverbère.

Comme la voie humide, mais à un degré moindre, la voie sèche présente aussi ses difficultés, que les innovateurs doivent prendre en considération :

L'élément *sulfuré (los bronces)* est généralement rare et il faut souvent payer ces éléments sulfurés à des prix élevés. La gangue est fréquemment très silicieuse et argileuse, ce qui oblige parfois à ajouter des flux *stériles*, comme le carbonate de chaux ou l'oxyde de fer.

Les menus *(llampos)* présentent des difficultés pour la fonte dans les fours à manche.

Enfin, les combustibles sont chers.

Il y a encore de grands perfectionnement à introduire dans les procédés de la fonte, au Chili, et le progrès le plus important qu'on pourrait réaliser dans certaines régions du Chili, où la force motrice hydraulique est abondante, serait l'économie du combustible par l'emploi des fours électriques.

Pour les détails relatifs aux valeurs et au marché des minerais de cuivre, mattes et barres de cuivre, au Chili, on peut consulter, à la bibliothèque des Ingénieurs civils de France, une brochure que je viens de publier sur cette matière.

Métallurgie du fer.

Jusqu'ici on s'est contenté, au Chili, d'exploiter les minerais de fer comme flux, pour la fonte de certains minerais d'argent, par exemple, dans les usines d'Antofagasta, mais depuis douze ans environ on pense sérieusement à l'introduction de la sidérurgie au Chili.

Peu de pays, dans le monde, se trouvent dans des conditions aussi favorables que le Chili pour la fabrication du fer, des ferromanganèses, aciers, alliages divers du fer, etc. Il peut non seulement fabriquer tout le fer qu'il consomme, mais en exporter dans les autres pays de l'Amérique du Sud.

Il est vrai qu'on ne peut compter, au Chili, sur les houilles et le coke, comme en Europe ou dans l'Amérique du Nord, mais, dans les régions du sud, existent d'immenses forêts vierges où on peut produire, à bas prix, de l'excellent charbon de bois. En dehors de cette ressource, on rencontre, dans beaucoup de régions du pays et près des principaux gisements des minerais de fer et de manganèse, des fleuves à courant rapide pouvant fournir de très puissantes forces hydrauliques et permettant ainsi d'appliquer, au moins en partie, les nouveaux procédés de fonte par l'électricité, ou tout au moins d'économiser une partie des frais de fabrication.

Les minerais de fer et de manganèse y sont d'une pureté, d'une richesse et d'une abondance extraordinaires.

Je me contenterai de citer les résultats d'analyses de minerais de fer et de manganèse, représentant les titres moyens de grandes quantités exploitées :

Minerai du « Tofo » (Province de Coquimbo).

Peroxyde de fer.	96,00 0/0
Eau	0,20
Matières volatiles	1,50
Matières insolubles et non dosées.	2,30
	100,00 0/0

Sans trace de soufre ni phosphore.

Minerais de manganèse embarqués pour l'Europe.

Peroxyde de manganèse	56,00 0/0
Protoxyde de manganèse.	24,00
Peroxyde de fer	0,60
Silice.	5,80
Phosphore	0,03
Carbonate de chaux	9,00
Substances non déterminées . . .	5,27
	100,00 0/0

On trouve également dans le pays tous les autres éléments nécessaires à la sidérurgie : castines, substances réfractaires, etc., etc.

Ceux qui voudraient s'intéresser à cette question peuvent en étudier tous les éléments dans plusieurs volumes que j'ai publiés sur cette question et dans une brochure récemment remise également à la Société des Ingénieurs Civils de France.

Les innovateurs de la sidérurgie au Chili peuvent être certains de trouver auprès du Gouvernement et de tous les habitants du pays, l'appui et la protection la plus efficace pour la réalisation de l'installation de cette industrie.

Avant de dire quelques mots sur d'autres pays de l'Amérique du Sud je crois important d'appeler l'attention des Ingénieurs et industriels français sur le matériel employé dans les mines et usines du Chili et les perfectionnements qu'il peut acquérir.

Moteurs, transports, conduites d'eau.

Moteurs à pétrole. — Remédier aux défauts des nombreuses réparations des moteurs actuels qui exigent des mécaniciens spéciaux.

Moulins à vent. — Chercher des installations simples et solides. Leur usage se répand beaucoup.

Moteurs hydrauliques. — Se rapprocher autant que possible du type Pelton pour les fortes chutes. On fait actuellement de grandes installations hydrauliques au Chili.

Transports de force par l'électricité. — On a déjà installé un transport par câble près de Lota et on projette en ce moment de grandes installations de transport de force motrice pour usines industrielles et métallurgiques, tramways et éclairage électrique.

Câbles aériens. — Ils sont en usage dans plusieurs mines et on peut en étendre les applications pour divers transports et le passage de fleuves.

Chemins de fer portatifs. — Lutter avec les bas prix allemands actuels et les appliquer aux transports des produits des fermes *(haciendas)* jusqu'aux grandes lignes de chemins de fer.

Tuyaux de conduite d'eau à haute résistance et autres. — Question importante pour les installations hydrauliques avec très fortes chutes et pour les prochaines installations d'égouts à Santiago.

Mines.

Appareils de sondage et de reconnaissance dans diverses directions. — Ont leur importance, non seulement pour les mines de charbon, mais pour reconnaître des gisements métalliques.

Perforatrices à main et avec force électrique. — Commencent à être employés avec succès dans quelques centres miniers.

Explosifs pour mines. — Une fabrique de dynamite pourrait être installée avantageusement au Chili et tous les explosifs pratiques y trouveraient leur emploi. Chercher un explosif convenable pour les minerais de peroxyde de fer de grande dureté, sur lesquels n'agit pas la dynamite.

Appareils de ventilation pour galeries et descenderies de mines. — On a souvent besoin, dans les petites mines, de ventilateurs à main de peu de valeur et résistants.

Pompes à main, à vapeur, et mues par l'électricité. — Il faut surtout des pompes aussi simples que possible, peu sujettes aux réparations et avec un matériel pouvant résister aux eaux acides.

Outils de mine, charriots, câbles, lampes de mineurs. — On fait un grand usage au Chili de ces outils, charriots et lampes, et actuellement on ne trouve sur place que des articles défectueux.

Métallurgie.

Les inventeurs et innovateurs doivent surtout diriger leur attention vers les appareils suivants :

Appareils de broyage, classification et concentration ;

Appareils pour l'application de la voie humide et des procédés électro-métallurgiques ;

Fours à réverbère de grand modèle, fours à manche et leurs accessoires ; récupérateurs de chaleur ;

Convertisseurs et sélecteurs ;

Appareils de transports et élévateurs ; éclairage des usines ;

Agglomérateurs et compresseurs pour mines ;

Fours électriques et électrodes.

Pour tous les appareils ou machines qu'on envoie au Chili, il est indispensable de joindre à l'envoi un grand nombre de pièces de rechange, toujours chères, défectueuses et difficiles à obtenir dans le pays.

Je devrai ici me limiter à dire quelques mots sur d'autres pays, qui ont aussi leur importance, de l'Amérique du Sud aux points de vue minier et métallurgique :

Bolivie.

Ce pays est très riche en mines, surtout en mines d'or, d'argent et d'étain ; on y produit également le bismuth, l'antimoine et le cuivre.

C'est principalément dans la région comprise entre Uyuni et Oruro qu'on exploite les principales mines d'argent, comme celles de « Huanchaca », « Sucabon de la Virjen », « San José » etc. Près de « Potosi », qui a bien perdu de sa splendeur d'autrefois, on exploite encore quelques mines de ce métal.

Les mines d'étain y sont riches et abondantes (oxyde d'étain) et se trouvent également dans les régions de « Oruro » et « Potosi ».

L'or est recherché à peu près dans tout le territoire et on arrivera à travailler de nouveau les riches sables aurifères de Tipuani.

Les mines de cuivre de « Corococo » sont bien connues et en ce moment, près du « Rio Cagua », on reconnait des puissants et riches gisements de ce métal.

L'or est obtenu par amalgamation et par lavage des sables.

L'argent est produit surtout par l'amalgamation par le procédé

de Frank (Usines de « Huanchaca », de la Compagnie d'« Oruro », etc.) et par voie humide (entre « Uyuni » et « Oruro »).

L'étain est obtenu de deux manières : à l'état de barres d'étain plus ou moins pur, mais contenant souvent du fer, dans des fours primitifs à bas foyer ou dans de vrais fours à manche comme près de « Potosi », et à l'état de grenailles (barillas) par le lavage, souvent dans des *fru-Vanners*, comme près de « Pazna ».

En dehors du chemin de fer de 930 *km* qui va d'Antofagasta (Chili) à Oruro (Bolivie) on ne compte guère sur des moyens de transport faciles en Bolivie, et souvent les chemins de charrettes sont détruits chaque année par les pluies. Il faut donc se résigner à faire la plupart des transports à dos de *llamas*, animaux à marche lente, ne portant guère plus de 50 *kg*, mais rendant de grands services dans ces pays.

Les grandes altitudes des hauts-plateaux, c'est à dire de la région habituelle des mines, dépassant 4 000 *m* et atteignant 5 000 *m* dans certaines mines, rendent difficiles, pour les Européens, les séjours dans ces régions.

Il serait très intéressant en France de s'occuper de l'acquisition directe des *barres* et *barrillas* d'étain de Bolivie et de ses autres métaux.

Ce sont actuellement des maisons anglaises et allemandes qui ont accaparé ce marché.

Pour les métallurgistes il y a une étude intéressante à faire pour le traitement économique des blendes argentifères, très répandues en Bolivie.

République Argentine.

A part la région de « Famatina », ce pays est assez pauvre en mines, mais on s'occupe déjà d'y exploiter des mines de charbon et d'organiser dans le sud des lavages importants de sables aurifères.

Près de « Mendoza » on a trouvé du pétrole.

A la limite du Chili, vers las « Choicas », existent de puissants gisements de minerais de cuivre.

Dans la région de « Salta », j'ai vu quelques mines d'argent, qui ont eu une certaine importance, et de riches dépôts de borates qu'on ne pourra exploiter que lorsqu'on aura amélioré les voies de communication.

Il n'existe guère d'usines métallurgiques que près de « Famatina ».

Pérou.

Ce pays est très riche en mines d'or, d'argent et de cuivre, mais, malheureusement, ces mines sont actuellement peu travaillées. On s'occupe d'extraire le *vanadium* de certains minerais qu'on trouve dans des mines d'argent.

Il faut espérer que les mines, dans ce pays, reprendront leur ancienne splendeur, et il y existe les bases de fructueuses exploitations minières.

Brésil.

C'est dans dans la province de «Minas Geraes» que sont exploitées les principales mines et l'or y est le métal le plus important. Tout le monde connait la production des diamants et pierres précieuses du Brésil.

On a tenté, il y a quelques années, dans des hauts fourneaux à charbon de bois, de produire le fer avec les riches minerais de fer de ce pays.

On a trouvé dernièrement, près de « Bahia », de riches gisements d'oxyde de manganèse, qui sont actuellement exploités, et dont les minerais sont envoyés en Europe.

Le Brésil est un pays de grand avenir au point de vue minier et métallurgique.

Il convient de s'intéresser aussi aux progrès d'autres Républiques, comme le Paraguay, Uruguay, etc.; mais ces études m'entraineraient trop loin.

Je ne crois pas sortir du cadre de cette étude en disant quelques mots des nouveaux procédés métallurgiques, ayant pour base la production de la chaleur dans des fours électriques. Ces procédés, en effet, prendront, quand le problème sera définitivement et pratiquement bien résolu, une grande importance dans l'Amérique du Sud, tant pour la sidérurgie et la métallurgie des autres métaux, et permettant l'utilisation des grandes forces hydrauliques dont on peut disposer dans ces régions.

Je parlerai donc des expériences auxquelles je viens d'assister à l'usine de Darfo (Italie), dirigée par un savant électricien et métallurgiste, M. le capitaine d'artillerie Erneste Stassano. Les Ingénieurs délégués allemands, MM. Goldschmidt et Deissler, ont

assisté à ces expériences industrielles qui ont duré 85 heures suivies.

L'usine de Darfo, qui reçoit sa force hydraulique du cours d'eau le « Dezzo », affluent de Oglio et qui, auparavant, appartenait à Bonara et C[ie], a été transformée en une usine électro-métallurgique de la « Societa elettro Siderurgica Camuna » formée au capital de 900 000 *f*.

De grands travaux d'installation sont en cours de construction et l'usine peut déjà disposer de plus de 1 500 *ch* de force hydraulique, force qui doit être plus tard très augmentée et poussée même jusqu'à 12000 *ch*.

En dehors des turbines, moulins à boule, meules, malaxeurs et compresseurs, concentreur électrique, etc., il n'y a encore que deux fours électriques installés, mais on se propose d'en installer de plus grands et avec de notables modifications.

Le plus petit four a la forme d'un four à cuve, séparé, à peu près au milieu, par une voûte avec ouverture pour laisser passer la charge qui est introduite, à la partie supérieure, par une ouverture avec obturateur; près de cette ouverture est un tuyau pour le dégagement des gaz qui sont allumés pendant le cours des opérations.

En dessous de la voûte, et pénétrant dans le four, deux électrodes en charbon de cornues à gaz, aggloméré par dextrine ou goudron et comprimé, et dont on peut régler l'écartement à volonté, soit directement par un mécanisme très simple, soit par un appareil hydraulique, comme dans le grand four. Intérieurement le four est construit en briques de magnésie, provenant de Hongrie, et qui semblent ne devoir être détériorées que très lentement.

Les électrodes ont chacun 1,10 *m* de long; les deux coûtent 40 *f*; et bien que refroidis par un courant d'eau extérieur, durent environ 36 heures, en laissant un fort déchet utilisable. A une certaine hauteur du fond du four est le trou de coulée, qui sert. à la fois, pour les produits sidérurgiques obtenus, et pour les laitiers.

Il suffit de percer au fleuret un tampon fait d'argile ou d'un mélange de magnésie et de goudron, pour obtenir l'écoulement.

Dans le petit four on a marché à 1 000 ampères et 110 volts, avec une force d'environ 120 à 150 *ch*.

Le grand four provient du troncage d'un vrai haut fourneau qu'on a construit et qui ne donna pas de résultats satisfaisants.

On enleva une partie du tronc de cône supérieur et actuellement la marche en est très satisfaisante.

Pour ce grand four, de dispositions analogues à celles du petit, on a marché à 2 000 ampères, 200 volts, avec 500 *ch*. Les deux électrodes de ce four pèsent 90 *kg*.

Comme on a remarqué que, pendant une longue phase des opérations, on avait une chaleur intense inutile, on va faire les modifications suivantes : le four sera un vrai four à réverbère avec trois paires d'électrodes, qu'on fera fonctionner ensemble, ou isolément, suivant les besoins des réactions. M. Stassano pense également installer un four à sole tournante.

Pour les expériences sidérurgiques, afin de bien assurer un mélange intime des matières, on broie les minerais de fer, de manganèse ou autres, ainsi que le calcaire nécessaire et le charbon de bois, dans des proportions déterminées par l'analyse, et en vue des produits qu'on veut obtenir; on malaxe le tout avec du brai; puis, dans une machine à compression spéciale, on fait de petites boules, pesant chacune environ 300 *g*; ces boules, une fois séchées, sont chargées dans le four et viennent tomber en dessous de l'arc voltaïque, qui n'agit que par réverbération, sans traverser la charge.

Expériences dans le petit four.

On *lave* d'abord le four avec une charge de riblons et d'un peu de fonte, et au bout de 2 heures, après le chargement, on coule cette charge, parfaitement liquide, dans deux lingotières donnant un poids de 58 *kg* de produits.

On charge alors successivement, par fractions de 25 et 30 *kg*, les boules faites d'un mélange dans les proportions suivantes :

Minerais de fer et de manganèse (hématites d'environ 50 0/0 de fer)	6 000
Calcaire	1 900
Charbon de bois.	415
Brai	1 200

Au bout de 4 heures on coule un *spiegel* ou fer un peu manganésifère.

On lave ensuite le four avec des riblons.

On fit alors une expérience pour production de fer doux avec les proportions suivantes :

Sidérite calcinée	6 000
Calcaire.	1 600
Charbon	375
Brai	1 160

La coulée a donné du fer très malléable.

Pour ne pas trop prolonger cette description, je me contenterai de dire qu'on fit ensuite d'autres charges pour fer doux, trois pour aciers, deux pour fer chromé, une autre pour fer doux, et que tous les résultats furent des plus satisfaisants.

J'obtins de M. Stassano de faire l'expérience suivante : on fit un mélange d'oxydes de fer et de manganèse, de quartz, argiles et carbonate de chaux, en *morceaux* gros comme le poing, dans des proportions à peu près analogues à celles d'un lit de fusion assez réfractaire, tel que les gangues habituelles de minerais de cuivre (mais ne contenant pas de cuivre) : ce mélange, chargé dans le four, sans le moindre combustible, et sous l'action seule de l'arc voltaïque, fut complètement fondu en une heure et les scories produites, parfaitement liquides.

Cette expérience a une grande importance au point de vue de la fonte des minerais de cuivre et autres dans des fours électriques, alors qu'il ne s'agit d'obtenir aucune réduction, mais seulement un certain nombre de calories.

On fit alors, dans le grand four, une série d'expériences analogues, mais sur des quantités beaucoup plus fortes, et les résultats pour fer doux, acier, etc., furent également satisfaisants.

Pendant une de ces expériences, par suite d'un accident arrivé aux électrodes, il fallut arrêter le courant pendant plusieurs heures; le mélange se figea, mais sous l'influence du courant rétabli, il redevint liquide et on obtint une grande quantité de fer doux de bonne qualité; au point de vue pratique, cet incident a une certaine importance qui milite en faveur du procédé.

Depuis lors, les analyses des échantillons prélevés ont été faites en Allemagne et M. Goldschmidt m'a indiqué quelques-uns des résultats suivants :

Un fer doux a donné :

C = 0,09 0/0,
Mn = 0,18,
Si = traces.

Une charge de 400 *kg* du grand four a donné :

C = 0,017 0/0, M*n* = 0,07 0/0, S = 0,05, S*i* = traces.

Un acier chromique :

C = 1,51 0/0,
M*n* = 0,16 0/0,
C*r* = 1,21 0/0.

De P*h* S et S*i*, il y a à peine quelques traces.

Néanmoins, il y a encore quelques perfectionnements à introduire pour arriver à une solution bien pratique et économique. L'inconvénient de l'usure des électrodes est assez sérieux et les quantités produites sont encore faibles, quand il s'agit de produits comme le fer et l'acier, qu'il faut obtenir en grandes quantités.

La confection des boules exige aussi une certaine dépense. Mais, pour la production de certains alliages et pour la fonte des minerais de cuivre et autres, si on arrive à régler la chaleur de manière à éviter la volatilisation des métaux (qu'on pourrait peut-être recueillir par condensation) on peut regarder le problème comme résolu.

J'ai eu l'occasion, au retour de ce voyage en Italie, de visiter, près de Lyon, une grande fabrique d'électrodes, obtenus par le broyage et malaxage, avec goudron, de charbon des cornues à gaz, et où on fabrique de ces électrodes cylindriques de 0,365 *m* de diamètre, 1,50 *m* de long, d'un poids de 250 *kg* et pouvant durer 140 heures. Le prix est de 0,45 *f* le kilogramme.

J'ai su qu'on employait également des fours électriques pour la fabrication de divers alliages du fer à Saint-Beron, près Grenoble, à Giffre, près Annecy, et à Albertville (Savoie). Dans cette dernière usine d'Albertville, on produit chaque mois 100 *t* de fer chromé à 66 0/0 de chrome.

On fait également, parait-il, de grandes expériences dans le même ordre d'idées, à Froges, près Grenoble, où l'habile électricien, M. Herould, aurait trouvé le moyen de remplacer les électrodes par un courant extérieur autour du creuset du four.

Cette question des fours électriques mérite d'être suivie et étudiée avec le plus grand soin par tous les métallurgistes.

NOUVEAU SYSTÈME DE FONDATIONS

POUR TERRAINS SABLONNEUX ET AQUIFÈRES

PAR

M. A. CASSE

Combattre l'eau dans les terrains sablonneux, essentiellement perméables, constitue toujours une grosse difficulté, à moins que l'on aie recours à l'air comprimé; creuser à sec dans les sables boulants et les terrains vaseux coulants, une fouille pour fondations devant atteindre une certaine profondeur, constitue même une impossibilité; car les sous-pressions deviennent, à un moment donné, tellement fortes, que, quoi qu'on fasse, on n'arrive pas à maintenir la venue des terres au fur et à mesure du creusement; aussi n'avait-on guère jusqu'à présent employé d'autre moyen que celui de remplacer les fondations pleines par un grillage établi sur pieux, ordinairement en bois, parfois en fer ou en fonte, pieux battus, vissés ou injectés à l'eau.

En 1886, ayant pour certains travaux été obligé de foncer un puits de captage d'eau en vue de drainer une assez grande étendue de terrain dans ces sables aquifères, je rencontrai d'énormes difficultés, et ce ne fut que grâce à beaucoup de persévérance, de grands frais, et en m'aidant d'injections d'eau, par lances isolées, le long du cuvelage en fer formant les parois de mon puits, que j'arrivai à atteindre la profondeur de 5 *m* reconnue nécessaire au captage des eaux.

J'eus alors l'idée d'appliquer, à la partie inférieure des cuvelages que j'aurais encore à foncer dans les terrains sablonneux et aquifères, une poche percée de trous (voir *fig. I)*, et à établir de distances en distances des couronnes creuses intérieures, également percées de trous dans la face antérieure, ces couronnes et la poche inférieure étant reliées à un tuyau d'amenée d'eau sous pression. L'eau refoulée à 4 ou 5 *atm* de pression par un jeu de robinets, tantôt dans la poche inférieure, tantôt dans les couronnes intermédiaires, est évacuée à l'extérieur par les orifices qu'on y a ménagés; le terrain à la partie inférieure du cuvelage est rejeté, il est dilué pour des terrains trop peu sablonneux, et le cuvelage, sous le poids d'une maçonnerie intérieure, et au besoin de surcharges supplémentaires, doit infailliblement des-

Fig. 1.
Fonçage de cuvelage par injection d'eau

Coupe en élévation

Coupe horizontale

Fig. 2
Système de fondation pour terrains sablonneux aquifères

a b a
A B
b b
C a b a D

Coupe AB

b

d

Coupe CD

b

d

Coupe AB

b

d

Coupe CD

b

d

cendre d'autant plus rapidement, que les éjections d'eau seront plus violentes. Si, malgré l'enlèvement des terres à l'intérieur, et tout en maintenant le niveau de l'eau constant, la descente était difficile par suite de la trop forte pression des terres contre les parois, le jeu de robinets permettrait de faire des éjections d'eau le long de la paroi extérieure du cuvelage; cette paroi étant ainsi lubréfiée, la pression des terres ne pourrait plus s'opposer à la descente.

D'autre part, les déblais se faisant à l'intérieur du cuvelage, soit par pompes, avec ou sans désagrégateurs, soit par norias ou de toute autre façon, au fur et à mesure de la descente du cuvelage, on annule la pression intérieure des terres, et, si, d'autre part, on tient compte que par le fait même de cette extraction il y aura un entraînement des terres extérieures vers l'intérieur, la descente ne peut plus être douteuse.

Le système dont le brevet a été admis en Allemagne où la brevetabilité au point de vue de la nouveauté est si sévère trouve son application dans l'établissement de fondations dans des terrains où seul l'air comprimé serait efficace.

Supposons qu'il s'agisse d'un mur de quai à établir dans des terrains trop fluides pour se passer de l'air comprimé et qu'on veuille éviter l'emploi du système de fondations sur pilotis.

J'établirai mon mur sur une série de piles reliées par des voûtes de décharges. Au lieu d'employer des cuvelages circulaires pour la construction de mes piles, je me servirai de caissons rectangulaires, dont les dimensions seront celles nécessitées par la résistance à donner au mur. Chacun de ces caissons (voir *fig.* 2) sera construit en béton ou en maçonnerie; dans ses parois latérales, je ménagerai des rainures *a* de manière à pouvoir relier les piles entre elles par des murs de masques à foncer de la même manière et par les mêmes procédés que le caisson lui-même.

Les figures 1 et 2 indiquent deux dispositions différentes de couronnes creuses *d* à établir à la partie inférieure des maçonneries : la première est en fonte, l'autre est en fer; elles sont percées d'une série de trous de 10 *mm* de diamètre en quantité telle que la somme de leur section multipliée par 0.62 (coefficient d'étranglement) soit égale à la section d'un des tuyaux d'amenée *b*. Les couronnes reçoivent l'eau sous pression par l'un de ces quatre tuyaux. Ces quatre tuyaux, un par paroi, sont utiles parce que, s'il arrivait que, pendant le fonçage le caisson venait à s'incliner d'un côté soit parce que l'eau est refoulée avec

plus de pression du côté du tuyau d'amenée, ou qu'une résistance à l'enfoncement se produise plus d'ûn côté que de l'autre, soit par suite de la présence d'un corps dur, on donneraità c e moment la pression d'eau du côté opposé à celui qui serait descendu davantage. Si, malgré cela, le caisson continuait à s'incliner du même côté, on arrêterait toute injection et on se contenterait d'enlever les déblais comme nous l'avons indiqué plus haut pour le fonçage d'un cuvelage en fer.

Après avoir constaté le corps dur, on le détruirait de manière à l'écarter et éviter toute action nuisible à la descente.

Quant à l'épaisseur à donner aux parois des caissons en béton, on pourra la diminuer en l'armant de fer, d'après le système Hennebique ou tout autre; plus les parois seront minces, plus l'on sera assuré de la rapidité d'enfoncement.

Faut-il faire les parois du caisson en béton ou en maçonnerie? Ces parois ne coûteront-elles pas plus cher que des parois en fer? Les parois en béton, armé ou non, si elles ne coûtent pas moins cher au m^2 de surface, seront incontestablement plus économiques pour l'ensemble de la construction; celles-ci seront construites en béton riche, de manière à obtenir des parois résistantes à la fois aux chocs et à l'action destructive des eaux; le béton qui sera coulé à l'intérieur du caisson pour faire le remplissage pourra être plus maigre.

Si l'on employait des caissons en fer, le fer constituerait une enveloppe peu utile à la résistance du massif lui-même, il se détruira dans un temps relativement court et toute la masse de béton devra être de même composition; je ne parlerai pas d'un caisson en fer qui serait revêtu de maçonnerie avant son enfoncement, son emploi serait un luxe.

Nous avons déjà exposé plus haut le mode de déblai pour les cuvelages, on pourra opérer de la même manière pour les déblais dans les caissons en béton ou maçonnerie; le moyen le plus économique sera en général la pompe centrifuge système Neut et Dumont; on aura soin, pour augmenter l'effet utile de la pompe, d'ameublir au préalable le terrain, en le désagrégeant ou en le diluant. Ces moyens de désagrégations sont multiples et nous ne pensons pas que ce soit ici le moment de les décrire, leurs applications diverses dépendent de la nature des terres à extraire.

Les murs de masque, ai-je dit, s'établiront également par injection, il suffira en effet de construire une espèce de large palplanche en béton, aussi large que l'intervalle séparant deux

piles ; elle sera armée à la partie inférieure d'une poche creuse, ainsi que nous l'avons indiqué pour les parois du caisson ; son enfoncement se fera de la même manière entre deux de ces palplanches, formant les deux faces du mur de masque, et les parois des deux caissons ; nous aurons formé un caisson nouveau dont on enlèvera les déblais comme nous l'avons déjà indiqué, mais au lieu de remplir le vide formé à l'aide de béton, et comme cette fondation n'a aucune charge verticale à supporter, on pourra se contenter de le combler soit de béton très maigre, soit d'enrochements.

Le système que nous venons de décrire trouvera son application, même dans les terrains d'alluvion, pourvu qu'ils puissent être suffisamment ameublis par les éjections d'eau ou par les désagrégateurs; mais, lorsqu'on se trouve en présence de semblables terrains, le système par injection n'est plus utile, ces terrains permettant l'épuisement des eaux à l'intérieur du caisson, et par suite d'opérer les déblais à sec suivant les usages courants.

Il y aura toujours lieu de faire en sorte, pour diminuer les sous-pressions et éviter les venues de terres de fond, d'exécuter les déblais à niveau d'eau constant. Le béton sera coulé sous eau sur une hauteur suffisante pour éviter les sous-pressions après l'épuisement des eaux, hauteur au moins égale au tiers de celle du niveau de l'eau extérieure. Lorsque l'on jugera que ce béton aura atteint une prise suffisante, on pourra épuiser l'eau du caisson et continuer le bétonnage à sec; néanmoins, immédiatement après la mise en profondeur des fouilles, on aura soin de charger le terrain d'une certaine quantité de moellons (sur une hauteur de 0.20 *m* à 0.30 *m*) de manière à éviter les venues de vases ou de sables toujours à craindre ; par cette précaution, ces venues de vases ou de sables n'atteindront pas une hauteur dépassant celle du niveau supérieur des moellons et on n'aura pas ainsi à redouter un mélange de ces terres avec le béton.

Si nous faisons la comparaison, par exemple, entre le coût d'une fondation de 6 $m \times 4$ m établie à l'aide du système par injection et en estimant la valeur du béton à 30 et 25 *f* le m^3 et le système de fondation des pilotis en bois surmontés d'un grillage de 0,20 *m* d'épaisseur posé sur des longrines de 0,30 $m \times 0,30$ m et en donnant aux pieux un diamètre de 0,30 *m*, nous voyons que l'avantage est au système de caissons en béton injectés. Aucune comparaison ne sera à faire avec le système à l'air comprimé, qui coûtera plus du double.

NOTE SUR L'ACTION

DES

DIVERS TYPES DE GAZOGÈNES

SUR LA

MARCHE DES FOURS MARTIN

PAR

M. A. LENCAUCHEZ

Pour l'examen de la marche des fours Martin à côté des faits cités par certains auteurs et des résultats obtenus, il y a lieu d'en chercher les causes; ce qui demande de longues observations faites avec beaucoup de soins et de méthode qui, pour bien être expliquées ès professo, rempliraient un gros volume qui prendrait plusieurs séances pour sa lecture. Je ne pourrai donner ici qu'un résumé sommaire de ce qui peut être dit sur les deux intéressantes questions de la production des gaz et de leur emploi aux fours Martin.

Il faut toujours, pour étudier les qualités économiques d'une aciérie Martin, séparer la production du gaz par les gazogènes, de la consommation des fours; de même qu'en travail mécanique, il faut séparer la production de la vapeur par les chaudières, de la consommation des machines à vapeur, car on peut avoir de très bons générateurs et un très mauvais consommateur, moteur ou four, comme avoir de mauvais fours et machines et de très bons générateurs, chaudières ou gazogènes, pour des combustibles déterminés, comme les meilleur marché, soit les plus économiques, à égalité de calories contenues, dans une localité ou pays considéré.

Les gazogènes doivent se diviser en deux types répondant à deux propriétés bien différentes des combustibles.

I

Les gazogènes cylindriques à cuve avec enveloppe en tôle et avec portes de cendrier *(ou joint hydraulique)*, gueulards et trous de piquage à fermeture hermétique : ces appareils doivent être soufflés, ils remontent à Ébelmen, soit à plus de cinquante ans ; mais ils ne se sont généralisés que depuis vingt-cinq ans en Écosse et en Angleterre, grâce à des circonstances peu connues ou inconnues en France, qui sont celles-ci :

En Écosse et en Angleterre on trouve des combustibles que MM. Scheurer-Kestner et Malher appellent des houilles ligniteuses, quoique géologiquement parlant elles appartiennent à la formation houillère et non à celle des lignites : ces houilles sont employées par les hauts fourneaux écossais et sont connues sous le nom de splint-coal ; comme les bois et les lignites elles distillent sans coller, deux blocs de splint ne se soudent pas à la distillation, quoique cependant à 40, 42 et 45 0/0 de matières volatiles, dans lesquelles il y a 8 à 10 0/0 d'eau de carrière et de constitution et 5 à 6 0/0 de goudron, donc en poids à 28 et 30 0/0 de gaz permanent de distillation, d'un pouvoir calorifique de 4 500 à 5 000 calories le mètre cube ramené à 0° et à 760. Ces splints-coals varient entre des teneurs de 2 à 10 0/0 de cendres, ils sont courants dans le commerce à 6 et 7 0/0 de cendres.

Dans mon mémoire sur la production du gaz, etc., au Bulletin de mai 1899, au tableau 4, on trouve l'analyse des gaz des hauts fourneaux écossais, qui arrive 1 471 calories le mètre cube à 0° et à 760 et qui est en moyenne pratique à 1 248 calories. Les hauts fourneaux écossais ont aujourd'hui à leur suite des condenseurs épurateurs, etc., du gaz, pour en extraire les sous-produits, goudron, benzol, ammoniaque, etc.

Les gazogènes, qui marchent au splint-coal et autres houilles jouissant des mêmes propriétés, sont très nombreux ; on pourrait même dire qu'aujourd'hui on n'en construit plus d'autres en Écosse, d'où les anciens gazogènes du type de Tscheitsch de Moravie de 1854-1855 (voir la *Revue Universelle*, etc., de Liège de 1857), connus depuis 1863 sous le nom de M. Siemens, disparaissent tous les jours.

Les variétés des gazogènes écossais sont très nombreuses, car tous les jours depuis vingt-cinq ans, en Amérique et en Angle-

terre, on dépose des demandes de brevets à leur sujet. Mais ils se réduisent en principe :

1° A avoir une hauteur de quatre à six mètres;

2° A avoir un diamètre ou ventre variant entre deux et trois mètres;

3° A être toujours soufflés, soit au ventilateur, soit au jet de vapeur et même au ventilateur avec addition de vapeur vive dans le vent.

Les gazogènes écossais du type de M. Mond sont soufflés au vent chaud, à la température moyenne de 250° et ce vent renferme un poids de vapeur égal au sien, soit par kilogramme de carbone fixe $\frac{4,440\ m^3 \times 1,3\ kg}{2} = 2,886\ kg$; donc par kilogramme de splint-coal $\frac{2,886\ kg}{0,55\ kg} = 5,247\ kg$, alors que 0,410 *kg* serait bien suffisant pour brûler la moitié du carbone fixe pour le gaz $CO + H$ et 0,820 *kg* pour faire le gaz $CO^2 + 2H$; aussi le gaz de M. Mond n'est-il qu'à 1 156 calories le mètre cube à 0° et à 760, comme les gaz des Siemens, alors que le même splint donne du gaz à 1 650 calories, quand la quantité de vapeur d'eau de 0,410 *kg* à 0,450 *kg* par kilogramme de splint n'est pas dépassée.

Ces quantités de 0,410 *kg* et 0,820 *kg* de vapeur pour le splint peuvent être portées à 0,675 *kg* et à 1,350 *kg* pour l'anthracite qui renferme 90 0/0 de carbone fixe.

La grande quantité de vapeur d'eau employée par M. Mond a pour but de favoriser la production ammoniacale, ainsi il obtient 42 *kg* de sulfate d'ammoniaque par tonne de splint, alors que les cornues à gaz d'éclairage ne donnent que 7 à 9 *kg*. Mais pour que la marche d'un gazogène soit possible avec une aussi forte proportion de vapeur d'eau, il faut que celle-ci soit surchauffée; car, par exemple, à 230° la force élastique de la vapeur est égale à 27 2/3 *atm*, donc à cette température elle se comporte comme l'azote, soit comme un gaz permanent et comme à 300° le vent allume les combustibles, on conçoit que malgré qu'en volume l'oxygène de l'air ne soit plus que dans la proportion de 8 à 92 0/0 dans le mélange d'air et de vapeur, la première combustion se pratique encore très bien grâce à la surchauffe à 250°.

Que faut-il conclure de ceci? C'est que grâce à la surchauffe du vent, on peut produire beaucoup de gaz à l'eau, pratiquement avec une allure relativement froide sur les grilles des

appareils, 800° à 1 000° au lieu de 1 450° à 1 500°; température à laquelle toutes les cendres sont scorifiées en machefer.

Les gazogènes de ces types cylindriques ne marchent bien qu'avec des anthracites, splints-coals, cokes, lignites, tourbes et bois, c'est-à-dire avec des combustibles qui descendent régulièrement, comme les cokes dans les hauts fourneaux, fours à cuve et cubilots; sans quoi, les voûtes de coke qui se forment dans les cuves des gazogènes les mettent rapidement hors service.

D'un autre côté, il faut encore que par la vapeur d'eau surchauffée avec l'air à 250°, on s'oppose à la formation des voûtes de machefer afin de n'avoir que de la cendre passant à l'état de boue dans les cendriers ou au contraire en réduisant la proportion de vapeur arriver à produire l'écoulement des cendres vitrifiées en mâchefer venant s'arrêter sur le radier arrosé des cendriers dont elles sont facilement enlevées, étant très friables dans l'eau.

Comme on ne sait jamais ce que sera le combustible que l'on consommera dans un an, deux ans, trois ans, etc., le mieux est de souffler au ventilateur avec injection de vapeur dans le vent et le parfait est encore de souffler au vent chaud à 250°, soit un mélange d'air et de vapeur en proportions variables suivant les besoins à cette température.

Mais sur le continent et en France en particulier, nous n'avons pas de ces houilles commodes que l'on trouve en Amérique, en Angleterre et en Écosse, alors on a recours à des mélanges de houilles gazeuses depuis 27 jusqu'à 36 0/0 de matières volatiles, avec des houilles maigres ne renfermant que de 5, 6 à 10 0/0 de matières volatiles; généralement le mélange se compose de deux tiers de houille gazeuse avec un tiers de houille maigre. Malgré tous les soins donnés à la fabrication des mélanges, il faut continuellement piquer la charge pour éviter la formation des voûtes de coke. Ce piquage est très pénible et très incommodant par suite de l'oxyde de carbone qu'il dégage. De plus, le gaz est des plus médiocres, car au lieu d'avoir des charges de 3 à 4 *m* mètres de splint-coal, on n'en a que de 0,850 *m* à 1,300 *m* de hauteur de mélange ; aussi y a-t-il toujours dans ces gazogènes des combustions anticipées brûlant en pure perte un quart, un tiers ou un demi du gaz; les gazogènes sont rouges intérieurement. La mauvaise marche de ces gazogènes se constate facilement par l'ouverture d'un trou de piquage,

qui au lieu de lancer un jet de gaz de 500 à 600 *mm* de hauteur (*pour un orifice de sortie de 50* mm) complètement bleu, bleu-noir ou noir donne un jet gris-noir avec un petit cône concentrique rouge ; plus le gaz est mauvais plus le petit cône est rouge et haut ; quand la moitié du gaz est brûlée dans le gazogène au bout de deux à trois minutes après l'ouverture du trou de piquage, une petite explosion se produit, elle claque comme un coup de fouet, le gaz est allumé et brûle complètement.

J'ai eu à essayer un mélange de fines flénues et maigres au gazogène cylindrique, qui pour une charge de 1,750 *m* réclamait une pression de vent de 0,400 *m* d'eau. Cet appareil a 2 *m* de diamètre au ventre : en Écosse, il passe 500 *kg* à l'heure soit 12 *t* par jour de splint-coal ; dans le Nord, le même gazogène ne passe au grand maximum que 180 *kg* par heure soit 4,320 *t* par jour. Quand on veut augmenter la pression du vent qui peut monter à 0,600 *m*, malgré l'injection centrale de celui-ci et malgré la prise de gaz également centrale ; au-dessus de la gazéification de 180 *kg* du mélange de fines de deux tiers de flénu du Pas-de-Calais et un tiers de maigre du Nord, l'excès de pression du vent du centre de grille passe à la circonférence des étalages, du ventre et de la cuve pour déboucher en anneau de 25 à 30 *mm* au-dessus de la charge qui reste noire. Cet anneau est rouge, la combustion y est très active et si on pousse la pression du vent pour arriver à une gazéification de 400 *kg* à l'heure, la moitié du gaz est brûlée ; aussi, le gaz qui sort du gazogène au lieu d'être 24 0/0 de CO et à 3 0/0 de CO^2 est à 10 0/0 de CO et à 15 0/0 de CO^2.

Si l'on tient compte de la formation des machefers d'une difficulté inouïe à enlever et du très mauvais gaz donné par les gazogènes cylindriques en France, on doit en conclure qu'ils ne sont pratiques qu'à la condition de ne gazéifier que le tiers ou le quart de leur gazéification normale en Écosse où le tout venant de splint, ses poussiers et fines sont traversés par les gaz avec la plus grande facilité. En France, pour utiliser les houilles flénues à 32 et 35 0/0 de matières volatiles, comme elles donnent encore du coke, il faut réduire les hauteurs de charges à 1,200 *m* à 1 *m* et même à 0,800 *m* en les piquant continuellement, d'où travail très pénible et production de mauvais gaz quand on veut remplacer deux ou trois gazogènes à plan incliné par un gazogène cylindrique.

Les gazogènes cylindriques chargés de combustibles ne donnant pas de coke aggloméré, facilement traversés par des pressions de vent modérées, de 100 à 150 mm^2 d'eau, donnent du gaz en grande abondance, très riche, variant entre 1 350 et 1 500, calories au mètre cube ramené à 0° et 760 : autrement, quand c'est par combustion anticipée qu'ils marchent, leur gaz tombe à 1 150, 1 050, et 900 calories, d'où il suit que leur production forcée, en France, est toujours mauvaise. Ces gazogènes sont à recommander pour la production du gaz par le coke, l'anthracite, les houilles maigres et anthraciteuses (1), les lignites, les tourbes et le bois, qui ne sont pas malheureusement les combustibles que l'on trouve à bas prix relatifs en France. On voit donc qu'il y a intérêt à produire du gaz à 1 500 calories, quand on le peut, car alors le rendement des gazogènes est de 85 0/0, alors qu'en faisant du gaz à 1 000 calories leur rendement tombe à 55 0/0 et même au-dessous.

II

Les gazogènes de Tscheitsch *(en Moravie)* de 1854 — 1855, connus généralement sous le nom de M. Siemens, qui les a répandus, il y a 30 à 40 ans sont aujourd'hui partout abandonnés, car leurs combustions anticipées et leur pertes de gaz, comme leur rayonnement, font qu'avec des houilles de premier choix, le rendement calorifique, soit thermique, tombe au-dessous de 60 0/0, et il descend à 45 0/0 avec les houilles collantes. Mais ces gazogènes primitifs ont été perfectionnés et aujourd'hui ils sont construits avec cendriers fermés par des portes à doubles parois et à matelas d'air isolant, ils sont à radiers arrosés ; de plus ils sont soufflés avec l'addition de vapeur vive, la plus convenable pour une qualité de combustibles déterminés et même dans certains cas soufflés au vent chaud, comme les gazogènes cylindriques ; au-dessus de la grille à gradin se continue un plan incliné de distillation sur lequel tombe le combustible, qui s'y distille et s'agglomère ; cette disposition est parfaite pour l'emploi des poussiers gras et maigres à l'état de mélange *(intime)*, qui pris isolément sont sans emploi aux gazogènes, le vent ne pouvant les traverser ; mais à l'état de mélange ils donnent un coke friable

(1) Et encore ces combustibles doivent être dépoussiérés et avoir au moins la grosseur de 15 à 25 *mm* sans quoi le vent ne passe pas et ils s'éteignent.

que l'on brise très facilement par les trous de piquage et que l'on pousse ensuite sur la grille où il se gazéifie très bien. Avec les gazogènes perfectionnés de ce dernier type à plan incliné, on peut gazéifier tous les combustibles : certains, bien entendu, à l'état de mélange intime; c'est pourquoi on les appelle aujourd'hui *les gazogènes universels.*

Mais à côté des qualités ci-dessus spécifiées, ils ont le défaut de ne pouvoir produire que la moitié, en France, de ce que donnent les gazogènes cylindriques et le 1/4 de ce qu'ils produisent en Écosse; de plus, ils ne peuvent marcher que sous des pressions de gaz de 2 à 4 *mm* au plus et sous des pressions de vent aux cendriers que de 15 à 60 *mm.* Quant au gaz produit par ces appareils il peut varier entre 1 200 et 1 450 calories le mètre cube ramené à 0° et à 760.

En résumé, les résultats et rendements thermiques donnés par un type de gazogène dans tel pays avec tel combustible ne seront pas toujours obtenus autre part avec d'autres combustibles; car il ne faut pas oublier que le rendement thermique des gazogènes varie entre 45 et 85 0/0. D'où il suit qu'une économie de 25, de 35 et de 45 0/0 constatée dans la marche d'un Martin, peut être due exclusivement aux gazogènes. J'ai constaté une économie de 55 0/0 dans la marche d'un four de verrerie par la transformation (en 1878) de ses quatre gazogènes, cependant le rendement thermique de ceux-ci n'était passé que de 1 125, calories à 1 475, ce qui donne une économie apparente de 23 0/0; mais comme le nouveau gaz donnait au même four une température beaucoup plus élevée, le nombre d'opérations était porté de 45 à 65 (1). Ce beau résultat avait été obtenu par l'amélioration des gazogènes Siemens de ce four; laquelle amélioration n'avait coûté que 3 000 *f*

Cet exemple prouve que pour faire de bonnes comparaisons, il faut comparer le même four Martin marchant avec le même combustible, faisant le même métal, avec les mêmes matières premières, avec différents types de gazogènes, en constatant par des analyses les qualités du gaz, pour contrôler la marche d'un four, puisque l'on vient de voir qu'à une économie théorique de 23 0/0 correspondait une économie pratique de 44 0/0. Mais ici

(1) $\frac{(65 - 45) \times 100}{45} = x = 44$ °/₀ d'économie réelle pratique.

il faut noter que le four avant la transformation de ses gazogènes donnait à peine la température de fusion et d'affinage du verre, alors qu'après il fallait le retenir, pour s'opposer à la fusion des creusets et de sa voûte en silice, soit à son emballement.

En ce qui concerne les fours Martin, on peut dire que généralement ces appareils manquent de surface de chauffe dans leurs accumulateurs, et celle-ci est encore souvent très mal répartie; d'un autre côté, l'empilage en domino de M. Siémens, très généralement adopté, est considérablement inférieur à celui de Cowper, pour les hauts fourneaux. Quand le manque de place *en profondeur*, fait que l'on construit des accumulateurs Siemens de peu de hauteur, 1 *m*, 1,500 *m* ou 2 *m* de grandes longueur et largeur, les courants gazeux s'y distribuent très mal, de courts circuits se forment et l'air secondaire, comme le gaz, sont mal chauffés, comme les fumées mal refroidies, puisqu'elle arrive au rouge à la cheminée, sortant des accumulateurs à 800°, 950° et 1 100°. Les fumées sont beaucoup trop chaudes et l'air secondaire beaucoup trop froid. Dans les Martin bien établis, les fumées sortent à 400° et 450° au plus et l'air secondaire est porté à 1 200° et 1 400°.

La disposition des brûleurs donnant à la flamme une direction lui faisant bien battre la sole avec une combustion complète quand celle-ci arrive aux brûleurs opposés *(faisant rampant de sortie de fumée)* est aussi très importante, car avec une bonne disposition on a la combustion complète, dans le laboratoire du four, avec un chauffage régulier s'appliquant sur toute l'étendue de la sole de ce four et de son bain de fusion. C'est encore par des analyses de fumées, que l'on contrôle la marche d'un Martin et les comparaisons ne sont possibles qu'entre Martin alimentés de gaz par les mêmes gazogènes recevant le même combustible faisant le même acier avec les mêmes matières premières.

Enfin, il faut encore que les cheminées des fours comparés donnent le même tirage et les mêmes sections d'écoulement de fumée pour des vitesses de même valeur dans les carnaux et traînasses, car, si le tirage fait défaut aux moments des coups de feu, le four perd sa grande activité et peut perdre une coulée sur quatre ou sur trois.

Il faut remarquer que beaucoup de choses pourraient être dites encore du transvasement de four à four, de poche Bessemer à four, du système Lévèque où la soufflerie du haut fourneau suffit pour un affinage, limité à la combustion du silicium, du laveur

Krupp, transvasant dans un four à sole tournante ou dans un Martin; de la tuyère rasante affinant l'acier comme le plomb *(dans la compellation)*, mais limitée à la combustion des métalloïdes; des fours oscillants, des fours poches pour coulées partielles, afin de charger continuellement les fours, pour continuellement les décharger par des coulées de 20, de 15 et 10 0/0 de la contenance totale de la sole *(faisant poche)*. Des choses non moins intéressantes peuvent se dire aussi sur de nombreux appareils à charger et à transborder, tels que : monte-charge hydraulique, grue locomobile à vapeur et locomotive, élévateur électrique, machine électrique à charger les fours, pont roulant électrique élévateur, transporteur et transbordeur, faisant fonction de machine à charger les fours. Peu d'usines en France ont des productions assez considérables pour nécessiter des installations telles que celles que l'on peut voir en Amérique, où on ne vise qu'à la production à outrance.

Quant à l'Ore Process, qui se pratique sur une très large échelle en Amérique et en Angleterre où il se substitue de plus en plus au Bessemer, qui semble devoir faire disparaître, il a sa raison d'être dans le manque de ferrailles et riblons d'une part et au bon marché relatif des minerais d'hématite d'autre part, très pure, n'ayant que 3 à 5 0/0 de gangue, qui, comme à Bilbao pour certaines qualités, n'est composée que de carbonate de chaux cristallisé, propre à favoriser la déphosphoration s'il y a lieu. Or, en Angleterre, les deux tiers des minerais consommés venant par mer, on conçoit que recevant un minerai aussi pur que le Bilbao-Campanil à gangue calcique, les Anglais pratiquent l'Ore Process pour affiner leurs fontes; car, par trois équivalents de carbone oxydés et chassés sous forme de CO, qui brûlent dans le four, ils ajoutent au bain de fusion deux équivalents de fer : en d'autres termes, 18 de carbone donnent théoriquement 56 de fer, soit trois fois leur poids en fer; il en est de même pour le silicium et le manganèse; de sorte qu'en pratique, à l'affinage, 1 000 *kg* de fonte à 87 0/0 de fer peuvent donner théoriquement :

Acier venant de la fonte . . .	870 *kg*
Acier venant de minerai . . .	233 *kg*
Total. . .	1 103 *kg*

et en pratique 1 050 *kg* à 1 075 *kg*; il y a donc là une addition de 1 060 *kg* — 870 *kg* = 190 *kg* d'acier par tonne de fonte, ce qui est très intéressant.

Pour terminer, donnons le tableau de deux mois de marche d'un Martin français, en disant que jusqu'ici, il est peu probable que cette bonne marche ait été dépassée à l'Étranger.

SOCIÉTÉ D'ESCAUT ET MEUSE, ACIÉRIE D'ANZIN

Marche du four Martin perfectionné, de la capacité de 15 tonnes de coulée, soufflé à l'air tertiaire.

MOIS	JOURS de TRAVAIL	JOURS D'ARRÊT volontaire	JOURS D'ARRET pour ENTRETIEN		PRODUCTION				DURÉE MOYENNE des coulées	CONSOMMATION DE CHARBON		
					COULÉES	TONNAGE	PAR JOUR	PAR COULÉE		TOTALE	PAR TONNE Aux gazogènes	PAR TONNE TOTALE
						t	*t*	*t*	*h. m.*	*t*	*kg*	*kg*
Juillet 1898 . . .	25 1/2	1	4 1/2	Brûleurs	99	1 545,736	61,000	15,600	6,10	385,785	222	250
Août 1898	24 1/2	3	3 1/2	Brûleurs	98	1 608,458	65,600	16,400	6,00	412,870	231	257
Septembre 1898. .	28	2	0	Néant	117	1 814.357	64,800	15,500	5,45	434,510	213	239

N. B. — De la consommation totale, il faut retrancher la consommation des gazogènes pour avoir la consommation des appareils accessoires qui sont :

1° Le foyer à chauffer la poche de coulée;

2° La chaudière donnant la vapeur à la machine, aux ventilateurs, au pilon d'essais pour les éprouvettes et à la pompe du monte-charge hydraulique;

3° La chaudière de la grue locomotive à démouler.

Ces consommations par tonne de lingots ont été, dans le mois de juillet, de.	250 *kg*	— 222 *kg*	= 28 *kg*	de charbon.
— — d'août, de	257	— 231	= 26	—
— — de septembre, de. . . .	239	— 213	= 26	—
MOYENNES. . . .	248 *kg*	— 222 *kg*	= 26 *kg*	de charbon.

ou 10 1/2 0/0 de la consommation totale qui est de 248 *kg* par tonne de lingots.

CHRONIQUE

N° 261.

SOMMAIRE. — La qualité de la vapeur *(suite et fin)*. — Trafic et fret sur les rivières en Allemagne. — Un moteur solaire. — Dislocation d'un bloc de rocher.

La qualité de la vapeur *(suite et fin)*. — Dans les considérations que nous venons d'exposer, nous avons admis une émersion régulière de la vapeur de tout le plan d'eau, hypothèse qui peut n'être pas exacte, surtout pour les chaudières de locomotives, où les surfaces de chauffe directe et tubulaire sont à la suite l'une de l'autre et où les vaporisations produites par les deux surfaces ne se confondent pas comme dans les générateurs marins à retour de flamme et les chaudières semi-tubulaires fixes. On peut donc se demander si l'appréciation générale que nous avons faite des conditions d'émersion de la vapeur est suffisante ou si les conditions de cette émersion pour les deux parties du plan d'eau sont assez dissemblables pour que la vapeur puisse, dans une partie ou l'autre, être notablement mélangée d'eau. Il est vrai que, dans ce cas, on pourrait compter sur le réservoir de vapeur pour opérer une séparation mécanique de l'eau entrainée, comme nous l'indiquions dans notre mémoire de 1869, où nous disions, page 482 : « Une faible proportion de surface de niveau d'eau peut être, dans une certaine mesure, atténuée par une ample dimension du réservoir de vapeur. »

On conçoit, en effet, que, si la vitesse d'émersion de la vapeur est faible, les gouttelettes d'eau entrainée avec cette vapeur retomberont dans la masse liquide avant d'avoir atteint une hauteur suffisante pour être prises par le courant de vapeur se dirigeant plus ou moins horizontalement vers la sortie. Or, plus la hauteur du réservoir au-dessus du niveau d'eau est grande, plus ce courant est généralement distant du même niveau et moins les inconvénients de la vitesse d'ascension se font sentir, au moins dans certaines limites.

La vitesse de ce courant est toujours très forte relativement à la vitesse d'ascension. Ainsi, pour une chaudière de 150 m^2 de surface de chauffe produisant 50 *kg* par mètre carré à 12 *kg* de pression, le poids de vapeur par heure sera de 7 500 *kg* et le volume de 1 140 m^3 soit 317 *l* par seconde. Si on admet que le dôme est au milieu, chacune des deux sections transversales de la chambre de vapeur de chaque côté du dôme donnera passage aux quatre dixièmes de ce volume, par exemple, soit 127 *l*; si la section a 30 dm^2, la vitesse de débit de la section sera de 0,42 *m* par seconde, vitesse qui est neuf ou dix fois celle de l'émersion. Si les gouttelettes d'eau arrivent jusque dans ce courant, elles sont exposées à être entraînées avec lui vers la sortie. A ce point de vue, le collecteur horizontal percé de trous, dit tuyau Crampton, est avantageux, parce que la direction que prennent les diverses parties de la vapeur est toujours verticale.

L'emploi d'un tuyau intérieur, même non perforé, amenant la vapeur des extrémités de la chaudière au dôme, est toujours avantageux en ce qu'il permet de donner à la vapeur une grande vitesse, qui est sans inconvénient puisqu'elle n'est pas en contact avec la vapeur émergeant du plan d'eau. La section transversale de la chambre de vapeur n'a donc plus à débiter qu'un volume bien moindre et la vitesse de la vapeur s'y trouve très notablement réduite.

Nous allons étudier les conditions de production et d'émersion de la vapeur pour les deux parties de la surface de chauffe dans les quatre genres de chaudières qui sont les plus répandus sur les chemins de fer, savoir :

1° L'ancienne chaudière à enveloppe de foyer renflée de Stephenson;

2° La chaudière avec enveloppe de foyer en prolongement du corps cylindrique, dite Crampton;

3° La chaudière à enveloppe de foyer rectangulaire à angles arrondis dite Belpaire;

4° La chaudière américaine dite *wagon top* où l'enveloppe du foyer et le corps cylindrique sont raccordés par un tronc de cône.

Nous avons cherché les productions de vapeur des deux surfaces de chauffe de ces chaudières et nous les avons comparées aux surfaces de niveau d'eau par lesquelles émerge la vapeur produite.

Pour obtenir séparément les productions de vapeur des deux surfaces, nous avons dû avoir recours à la formule de Busse basée sur les expériences faites au chemin de fer du Nord français de 1860 à 1864 avec une chaudière de locomotive divisée en compartiments dont les productions individuelles étaient mesurées. Nous avons admis une dépression uniforme de 80 *mm* d'eau dans la boite à fumée.

L'application de cette formule nous a permis de dresser le tableau suivant où figurent quatre locomotives, une pour chacun des types de chaudières indiquées plus haut.

TABLEAU C.

N°s	MACHINES	n	n'	$\frac{n'}{n}$	q	q'	$\frac{q'}{q}$	$\frac{n'}{n} \Big/ \frac{q'}{q}$
2	Buddicom	1,32	2,38	1,80	1 215	1 950	1,60	1,12
4	Crampton	1,60	3,50	2,18	1 340	2 900	2,16	1,00
12	État Saxon. . . .	4,00	5,30	1,34	2 810	3 970	1,41	0,95
11	New-York Central.	4,10	3,80	0,91	3 420	4 730	1,38	0,67

n surface de niveau au-dessus du foyer. n' surface de niveau au-dessus des tubes.
q production de vapeur du foyer. q' production de vapeur des tubes.
Les numéros d'ordre de la première colonne correspondent à ceux du tableau B.

On voit par l'inspection du tableau que, pour les trois premières chaudières, les rapports des surfaces de nivoau et des productions de vapeur diffèrent extrêmement peu, ce qui indique des conditions à très peu près semblables d'émersion de la vapeur sur toute l'étendue du plan d'eau de la chaudière. Pour le quatrième générateur, au contraire, la différence est très sensible; on voit que la surface d'émersion est relativement faible du côté des tubes, ce qui s'explique par le mode de construction de la chaudière dans laquelle le niveau d'eau est très élevé dans le corps cylindrique. Il y aurait là un défaut assez sérieux s'il n'était atténué dans une certaine mesure par le fait que le plan d'eau de l'avant du corps cylindrique, lequel plan d'eau est faible, est raccordé au plan d'eau qui surmonte la boite à feu par une partie en trapèze correspondant à la portion tronconique de l'enveloppe et que, par suite, la partie des tubes qui produit le plus a une surface d'émersion relativement grande au-dessus d'elle.

Le système de boîte à feu le plus avantageux au point de vue qui nous occupe, est le système dit de Belpaire; il est surtout précieux pour les locomotives devant circuler sur des lignes à fortes rampes, parce que, lors de l'inclinaison, tandis que la surface de niveau d'eau augmente dans le corps cylindrique, elle ne diminue pas sur le foyer, comme cela arrive avec la boite à feu Crampton et même Stephenson; pour la même raison, la variation du plan d'eau avec l'élévation plus ou moins grande du niveau d'eau est notablement moindre.

Maintenant que nous avons suffisamment étudié les conditions d'établissement des chaudières de locomotives sous le rapport de la facilité d'émersion de la vapeur de la masse liquide, il nous reste à examiner comment l'expérience directe confirme les hypothèses exposées précédemment.

Sans remonter aux recherches mentionnées plus haut de D.-K. Clark, nous rappellerons d'abord les expériences faites par notre regretté collègue de Borodine, sur des locomotives fonctionnant comme machines fixes, dans un laboratoire provisoire installé à Kieff. Ces expériences ont fait l'objet d'un mémoire de l'auteur, inséré dans les *Bulletins* de 1886, volume II, et couronné par la Société. On y a trouvé des proportions d'eau entraînée très faibles. Nous relevons à ce sujet page 282, le passage suivant : « La petite quantité d'eau entraînée trouvée dans ces expériences pourrait peut-être inspirer des doutes à quelques personnes, car il existe une idée assez répandue que les chaudières, et particulièrement les chaudières de locomotives, produisent une vapeur humide qui contient beaucoup d'air en suspension. En réalité, tous les essais exécutés dans ces derniers temps sur le degré d'humidité de la vapeur ont montré une quantité insignifiante d'eau entraînée avec la vapeur, même dans le cas de chaudières tubulaires ».

Il a été fait, comme on sait, de 1885 à 1890, dans les ateliers de Paris des chemins de fer P.-L.-M., sur l'initiative et sous la direction de M. Henry, de remarquables expériences sur la vaporisation des chaudières de locomotives. On a opéré avec une chaudière placée dans un atelier spécial. Cette chaudière avait le corps cylindrique formé de tron-

çons, de manière qu'on pût varier la longueur de ce corps et, par suite, celle des tubes.

On a naturellement eu soin de mesurer la proportion de l'eau entraînée avec la vapeur et on a employé à cet effet la méthode calorimétrique dans laquelle on fait passer, dans un condenseur disposé comme un calorimètre, une certaine quantité de vapeur à essayer. En mesurant la quantité de chaleur cédée à l'eau de refroidissement, on peut trouver la proportion d'eau liquide contenue dans la vapeur. Nous renverrons aux *Annales des Mines*, 1894, pages 133 et suivantes, pour le détail de la méthode et nous nous contenterons de donner les résultats.

« En faisant usage de ce procédé, on a reconnu que la proportion d'eau entraînée par la vapeur était toujours très voisine de zéro ; les chiffres ont varié entre + 3,3 0/0 et — 4,11 0/0. Ces variations ont paru être de l'ordre de celles que peuvent entraîner les erreurs d'expériences et l'on a dès lors admis que la vapeur était sèche dans tous les essais, contrairement à ce qu'on supposait. On a attribué ce résultat à ce que la prise de vapeur de la chaudière, dans le dôme, séchait la vapeur d'une façon parfaite ; à titre de vérification, on a fait des expériences en prenant de la vapeur dans une partie de la chaudière où on était certain de trouver de l'eau entraînée ; dans ce cas, la méthode a accusé une proportion d'eau variable, souvent considérable comme on s'y attendait .»

Nous avons tenu à citer les termes même du rapport ; on sent que l'idée de l'eau entraînée subsistait dans l'esprit des ingénieurs du P.-L.-M., comme jadis dans celui des ingénieurs de Mulhouse. Si on n'en trouve pas dans la vapeur prise, c'est qu'elle a été purgée de cette eau et séchée. Il est regrettable que le rapport n'ait pas cru devoir donner quelques chiffres sur la proportion considérable d'eau trouvée ailleurs et indiquer la partie de la chaudière où on était certain de trouver de l'eau entraînée.

La séparation de cette eau, si tant est qu'il y en ait eu, de la vapeur a pu se faire aussi bien dans la chambre de vapeur même que dans l'appareil de prise de vapeur, et on peut presque toujours trouver de l'eau entraînée en faisant la prise d'essai assez près du niveau d'eau.

On trouve aussi dans ce rapport la réserve faite déjà par M. Leloutre : « Cela ne veut pas dire que la vapeur est sèche dans les locomotives en marche, car les mouvements de saut et de galop de la machine et la trépidation remuent constamment l'eau de la chaudière, ce qui doit donner lieu à un entraînement d'eau variable suivant les circonstances. » Nous nous permettrons de faire observer que, si la disposition de la prise de vapeur de la locomotive expérimentée, disposition comportant un sécheur par renversement brusque de la direction du courant, est suffisante pour sécher la vapeur dans le cas de la chaudière fixe, elle le sera certainement encore pour la locomotive en mouvement, car les oscillations de la chaudière ne doivent pas être plus grandes que celles des chaudières marines dont nous avons parlé plus haut et où on n'a trouvé que des quantités d'eau entraînées très faibles.

La chaudière expérimentée était d'ailleurs dans de bonnes conditions

au point de vue de l'émersion de la vapeur. Nous avons calculé pour diverses longueurs de tubes la surface de chauffe, la surface de niveau d'eau et le rapport de ces surfaces, et nous avons trouvé les chiffres suivants :

Longueur de tubes	3 *m*	5 *m*	7 *m*
Surface de chauffe totale . . .	94,4	147,9	201,4
— de niveau d'eau . . .	6,0	8,3	10,6
Rapport	15,7	17,8	19

Comme 5 *m* est le maximum de longueur pratique, on voit que le rapport, c'est-à-dire le nombre de mètres carrés de surface de chauffe totale par mètre carré de surface de niveau d'eau, resterait toujours dans des limites très modérées, 16 à 18. Dans les expériences précitées, la vaporisation la plus élevée avec les tubes de 7 *m* a été de 6 655 *kg*. La formule $368 \sqrt{gC}$ donnerait pour cette chaudière 6 800 *kg*; et l'expression $\frac{\sqrt{gC}}{\delta N}$ pour 10 *kg* de pression effective une valeur de 0,40, ce qui démontre que, malgré le peu d'élévation de la pression en usage alors, cette chaudière était dans de bonnes conditions au point de vue de l'émersion de la vapeur, et devait donner de la vapeur à peu près sèche, même sans l'intervention du sécheur.

Il a été fait en 1892, sur la locomotive du laboratoire expérimental de mécanique de l'Université de Purdue, aux États-Unis (1) des expériences très étendues, au cours desquelles on a cherché à déterminer la proportion d'eau entraînée.

Ces expériences ont été faites sous la direction du professeur A.-G. Goss. Nous rappellerons que cette locomotive est montée au laboratoire de façon qu'on puisse étudier son fonctionnement et analyser son travail pendant la marche à une vitesse et sous une charge quelconques, dans des conditions analogues à celles du service sur la voie.

Les éléments essentiels de la chaudière figurent dans le tableau B sous le numéro 10.

On s'est servi pour ces essais d'un calorimètre à étranglement, branché sur un des tuyaux de vapeur dans la boite à fumée, à peu près au milieu de la longueur de ce tuyau. Il a été fait 19 essais, pour lesquels nous nous bornerons à indiquer que les valeurs extrêmes de la proportion d'eau entraînée ont été de 0,72 et 1,25 0/0. On a remarqué, après coup, que la vapeur se chauffait dans son passage dans la boîte à fumée et qu'il en résultait une légère erreur. De plus, les productions de vapeur n'avaient pas été poussées dans ces essais au delà de 10 livres par pied carré de surface de chauffe et par heure, soit 48,7 *kg* par mètre carré. Ces expériences ont donc été reprises l'année dernière et nous donnons ci-dessous les résultats de 35 essais faits avec le calorimètre placé directement sur le dôme de la chaudière.

(1) Voir Chronique de décembre 1891, page 734

TABLEAU D.

Kilogr. par mètre carré	Eau 0/0	Kilogr. par mètre carré	Eau 0/0
—	—	—	—
26,7	0,49	46,3	0,90
27,1	0,63	46,6	0,88
29,1	1,62	46,6	1,20
29,4	0,78	49,3	1,29
30,0	1,06	49,8	1,31
35,1	0,76	54.8	0,94
35,6	0,68	55,0	1,29
39.2	0,83	55,1	1,06
39,3	1,00	55,6	1,62
41,2	0,63	56.1	1,27
41,6	0,68	59,0	1,44
41,7	0,87	59,2	1,34
41.7	0,69	60.0	1,24
42,9	1.22	62.2	1,11
44,5	1,49	63,0	0,70
45,0	1,14	67,2	1,13
45,3	1,40	71,7	1.11

Pour mieux apprécier la valeur de ces chiffres et les dégager des irrégularités inévitables dans les essais de ce genre, nous divisons le tableau en trois parties et prenons la moyenne de chacun, ce qui donne les résultats suivants :

De 27 à 40 *kg* par mètre carré 0,87 0/0 d'eau en moyenne.
De 40 à 55 — 1,05 — —
De 55 à 72 — 1,20 — —

On voit très clairement que la proportion d'eau entraînée croit avec la production par mètre carré, mais que, même pour la plus forte production, la proportion est très faible. Pour une vaporisation moyenne, cette proportion ne dépasse pas 1 0/0. On peut voir. d'ailleurs, sur le tableau B, que la chaudière est dans des conditions favorables au point de vue de l'émersion de la vapeur. Une remarque importante à faire est que ces proportions d'eau ont été trouvées, la machine fonctionnant, c'est-à-dire avec les mouvements amenés par les perturbations provenant de la marche du mécanisme. Il ne manque donc que les soubresauts dus aux irrégularités de la voie pour que la machine soit dans les conditions du service courant ; or il est bien peu probable que ces mouvements supplémentaires soient assez importants pour modifier sérieusement les résultats que nous venons d'indiquer comme proportion d'eau entraînée. Cette considération, venant s'ajouter à l'observation directe faite sur des chaudières de bateaux en marche, permet d'affirmer que des chaudières de locomotives bien établies et bien conduites donne-

ront toujours en service de la vapeur sensiblement sèche, et, à ce propos, nous ne saurions trop insister sur l'utilité que présente l'insertion, dans les légendes des dessins de chaudières et les nomenclatures des dimensions de locomotives, de la valeur de la surface de niveau d'eau au même titre que les valeurs des surfaces de grille, de chauffe, les volumes d'eau, etc. qu'on y voit figurer.

Nous croyons donc pouvoir conclure de l'étude qui précède qu'on peut toujours, en conservant une relation convenable entre les surfaces de transmission du calorique à l'eau de la chaudière et les surfaces d'émersion de la vapeur de la masse d'eau, avec un volume de réservoir de vapeur modéré, obtenir de la vapeur pratiquement sèche, surtout dans le cas des chaudières de locomotives pour lesquelles la tension élevée de la vapeur est un élément éminemment favorable.

Les chaudières actuelles présentent très généralement de bonnes proportions pour le rapport dont il s'agit, mais, lorsqu'on vient à étudier des dispositions sortant des formes usuelles, il est toujours prudent de s'assurer si ce rapport ne s'écarte pas trop des valeurs courantes.

Nous devons faire observer, en terminant, que nous ne nous occupons pas ici des générateurs à tubes d'eau qui sont dans des conditions différentes au point de vue de la séparation de la vapeur et de l'eau et dont certains ne présentent même pas de surface de niveau d'eau.

Trafic et fret sur les rivières en Allemagne. — Nous trouvons, dans les *Annales des Travaux Publics de Belgique*, l'extrait suivant d'un article publié par M. Schwube, dans le *Zeitschrift für Binnenschiffurt* au sujet du fret, en 1899, sur les trois grands fleuves de l'Allemagne. Les chiffres indiqués représentent le taux du fret par tonne-kilomètre en millimes pour les charbons, minerais, céréales, etc.

Rhin (1)

	Mil.		Mil.
Charbons :			
En remonte (Ruhrort-Mannheim 354 *km*)	3,125	à	11,25
En descente (Ruhrort-Rotterdam 215 *km*)	2,75		7,50
Minerais :			
En remonte (Rotterdam-Ruhrort 215 *km*)	2,25		13,50
En descente (Oberlahnstein-Ruhrort 196 *km*) . . .	5,00		10,50
Céréales :			
En remonte (Rotterdam-Mannheim 569 *km*)	5,50		17,50

Il est à remarquer que le taux extraordinairement minime de 2,25 (minerais) doit être considéré comme exceptionnel et ne se présente que par suite d'un concours de circonstances particulièrement favorables.

(1) D'après les rapports des Chambres de commerce de Mannheim et de Ruhrort.

ELBE (1)

En descente :

		Mil.		Mil.
Charbons	Aussig-Dresde 89 *km*	17,50	à	35,00
	Aussig-Magdebourg 347 *km*	6,00		11,25
	Aussig-Berlin 524 *km*	7,88		13,75
Sucre	Magdebourg-Hambourg 310 *km*	10,12		23,75

En remonte :

Marchandises diverses	Hambourg-Magdebourg 310 *km*	8,37		17,50
	Hambourg-Dresde 568 *km*	6,12		16,25
	Hambourg-Aussig 657 *km*	8,12		17,50
Céréales	Hambourg-Magdebourg 310 *km*	8,87		20,00
	Hambourg-Dresde 568 *km*	6,37		13,25

ODER (2)

En descente :

		Mil.		Mil.
	Cosel-Berlin 604 *km*	10,37	à	13,50
	Breslau-Berlin 463 *km*	6,75		11,00
	Breslau-Stettin 491 *km*	6.00		6 12
	Cosel-Stettin 656 *km*	8,75		10,00
Marchandises pondéreuses	Breslau-Hambourg 827 *km*	6,75		10,62
	Breslau-Stettin 491 *km*	7,62		12,50
	Breslau-Berlin 463 *km*	10,00		15,50

En général le taux du fret diminue à mesure que la distance du parcours et le tonnage du chargement augmentent. La direction de la navigation (remonte ou descente) et la situation des eaux ont une influence prépondérante. La question du fret en retour constitue également un facteur important. Il va sans dire que d'une marchandise à l'autre les conditions changent totalement.

C'est sur l'Oder que les fluctuations dans le taux du fret sont les moins accentuées ; elles varient dans les limites de 1 à 1,7. Elles sont les plus fortes sur le Rhin où les limites sont de 1 à 3,2 pour les céréales, 1 à 3,6 pour les charbons et 1 à 5,4 pour les minerais. Sur l'Elbe, la variation moyenne est de 1 à 2,4 ; elles atteignent toutefois 1 à 5 pour le sucre.

Il semblerait que les fluctuations augmentent avec l'importance du trafic de la voie. Quoi qu'il en soit, les chiffres ci-dessus montrent combien il est difficile d'établir des frets moyens, même en ce qui concerne les articles principaux, pour les trois fleuves. On peut néanmoins considérer comme approximativement exact le relevé comparatif suivant :

(1) D'après le journal *Schiff*.

(2) D'après l'Association de navigation de Breslau.

Fret moyen par tonne-kilomètre en millimes

	Rhin	Elbe	Oder
	—	—	—
Charbons	7,50	8,75	9,50
Céréales	13.75	11,25	12,12

Voici maintenant, à titre de comparaison, quelques exemples de frets maritimes moyens payés pour expédition de céréales vers Rotterdam et Anvers en 1899 par tonne-kilomètre et en millimes (1).

	Mil.		Mil.
	—		—
Baltique 1 600 *km*	3,00	à	3,87
Mer Noire 6 500 *km*	1,87		2,25
Saint-Pétersbourg 2 600 *km*	2,87		3,12
New-York 6 450 *km*	1,62		3,37
Buenos-Ayres 12 550 *km*	1,75		2,75
Calcutta 14 500 *km*	1,25		2,00

Nous pensons qu'on lira avec intérêt, à la suite de cette note, une autre, extraite également du *Zeitschrift für Binnenschiffurt* et relative aux transports de charbons sur le Rhin, l'Elbe et l'Oder.

Alors que, sur le Rhin, la houille est la seule espèce de charbon transportée, le lignite prédomine sur l'Elbe et est représenté également, en grandes quantités, sur les voies navigables de la Marche et, en quantités moindres, sur l'Oder. Cette dernière rivière transporte surtout de la houille de la Haute et de la Basse-Silésie. La houille anglaise ainsi que celle de la Wesphalie se rencontrent sur l'Elbe, le Havel et les voies navigables de la Marche jusqu'à Berlin où elles arrivent en grandes quantités. Sur l'Oder inférieur, on trouve également de la houille anglaise.

Ce sont les ports de Ruhrort et de Duisbourg qui servent principalement aux expéditions par eau des charbonnages de la Ruhr. En 1899, ces expéditions ont atteint le chiffre de 7 077 000 *t*. Vers les Pays-Bas, on a expédié 1 900 000 *t* et, vers Mannheim, les expéditions se sont élevées à 2 250 000 *t* dont 389 000 en destination du Rhin supérieur jusqu'à Strasbourg. Mayence et Gustavbourg ont reçu, par le Rhin, 700 000 *t* de charbon, Francfort-sur-Mein, 494 000 et Ludwigshafen 463 000. D'autre part, 227 000 *t* de houille anglaise ont passé la frontière à Emmerich, en remonte vers les ports rhénans.

Par l'Elbe, on a importé de Bohême 2 247 000 *t* de lignite, dont 146 000 en destination de Dresde et 345 000 à destination de Magdebourg, qui a reçu en même temps 59 000 *t* de houille anglaise. Une grande partie de ce lignite n'a fait que transiter pour emprunter les voies navigables de la Marche. Celles-ci ont transporté également une quantité considérable de houille anglaise importée par Hambourg. C'est ainsi que le bureau de Plaue (Plauer Kanal) a enregistré le passage de 379 000 *t* de lignite et celui de l'écluse de Rathenow (Havel) de 377 000 *t*

(1) D'après un rapport de la Chambre de commerce de Mannheim.

de houille, dont la moitié environ d'origine westphalienne. Ces derniers charbons profitent du tarif d'exception, empruntant le chemin de fer jusqu'à Hambourg d'où ils sont expédiés par bateau vers Berlin.

Sur l'Oder, le port de Cosel a expédié 762 000 *t* de houille, en majeure partie à destination du canal de l'Oder à la Sprée.

A cette quantité, il faut ajouter 527 000 *t* arrivées par wagon à Breslau et transbordée sur bateau, En tout, 965 000 *t* de houille silésienne ont emprunté à Furstemberg le canal de l'Oder à la Sprée. Vers l'Oder inférieur, on a expédié (en descente) 180 000 *t* de houille en même temps qu'on importait au port de Swinemünde 284 000 *t* de charbon anglais. Enfin, pour le canal de Finow, on a transporté 354 000 *t* de houille, dont 282 000 *t* dans la direction Oder-Havel et le restant en sens inverse.

Un moteur solaire. — Nous avons indiqué, dans une chronique déjà ancienne, qu'une Compagnie s'était créée en Californie, sous le nom de Solar Heat Power Company, pour utiliser la chaleur solaire comme force motrice pour l'irrigation et autres travaux agricoles. Cette Compagnie n'avait plus fait parler d'elle et nous ignorons si elle à quelque rapport avec un nouveau moteur solaire dont nous trouvons la description dans l'*Engineering News* du 9 mai dernier.

L'attention a été vivement attirée sur un nouveau moteur solaire qui a été installé récemment à South Pasadena, en Californie. Cet appareil est le résultat de recherches expérimentales très coûteuses qui ont duré plusieurs années. Il a été construit à Boston où est le siège de la Compagnie qui l'exploite et a été expédié à Pasadena pour être essayé sous l'action du soleil perpétuel de l'été du Sud de la Californie.

Le degré actuel de perfection de la machine a été obtenu non pas tant par des inventions nouvelles que par l'étude et l'application heureusement modifiée des principes qui ont servi à la construction des moteurs solaires essayés jusqu'ici sans succès.

Les deux parties principales de l'appareil sont le réflecteur et la chaudière. Le premier a la forme d'un tronc de cône à base circulaire; son plus grand diamètre est de 10 *m* environ, le plus petit de 4,80 *m*. La surface réfléchissante est composée de 1 788 miroirs plans placés à l'intérieur du cône. Ces miroirs sont en verre, de l'épaisseur du verre à vitres ordinaire et sont recouverts sur le revers de trois couches d'argent pur avec superposition d'une préparation pour préserver l'argent des injures du temps.

On voit que, si l'axe du cône est placé dans la direction du soleil, tous les rayons tombant sur les miroirs seront réfléchis sur l'axe. Le réflecteur est maintenu toujours dans la même direction par un mouvement d'horlogerie à contrôle électrique agissant toutes les vingt secondes.

La machine est suspendue à une charpente en fer très légère mais assez solide pour résister aux vents les plus violents.

La chaudière est naturellement placée au foyer; elle a 4,14 *m* de longueur et une capacité de 450 *l* pour l'eau et 225 *l* pour la vapeur. Elle est formée d'un fort tube d'acier terminé par deux calottes en fonte, dont l'une placée à la partie supérieure porte un dôme de prise de vapeur.

Cette chaudière porte à l'intérieur certaines dispositions spéciales qu'on n'a pas fait connaître jusqu'à présent et qui ont pour but d'éviter le passage de l'eau à la machine lorsque la chaudière se trouve renversée en suivant le mouvement général de l'appareil. Elle porte une soupape de sûreté et un niveau d'eau; elle produit la vapeur à la pression de 10,5 *kg*, pression qui est atteinte au bout d'une heure d'exposition au soleil. La partie extérieure est revêtue d'une préparation contenant du noir de lampe pour augmenter le pouvoir absorbant de la surface.

Un tuyau enveloppé d'amiante conduit la vapeur à la machine. Celle-ci est du type compound à condensation et de 11 *ch*.

Cette machine actionne par courroie une pompe centrifuge qui élève 6 000 *l* environ d'eau par minute d'un puits de 4,80 *m* de profondeur. L'élévation réelle peut être évaluée à 2,10 *m*.

L'application la plus indiquée de la puissance solaire est l'élévation de l'eau des milliers de puits qui servent à l'irrigation dans les vastes régions de la Californie méridionale, du Névada, du Nouveau-Mexique et de l'Arizona. Les journées y sont presque absolument sans nuages d'avril à octobre et la chaleur y est généralement intense. Or, le principal obstacle à l'irrigation est l'absence de cours d'eau et la rareté extrême du combustible (1). Si la chaleur solaire permet d'utiliser ces puits, le second obstacle n'existe plus. On pourra ainsi mettre en culture et amener à une énorme production agricole les parties les plus favorablement situées du grand désert américain.

Après expérience, on ne croit pas utile d'augmenter les dimensions des machines au delà de celles de l'appareil déjà construit. Il peut donner pleinement 10 *ch* et cette puissance pourra être portée à 15 au moyen de quelques améliorations en voie d'application à l'appareil actuel. Si on a besoin d'une plus grande force, il est facile de réunir plusieurs réflecteurs et chaudières pour le service d'une seule machine.

Dislocation d'un bloc de rocher. — La Compagnie des Chemins de fer du Périgord a bien voulu envoyer à notre Société une notice très détaillée sur un intéressant travail opéré récemment par ses soins. Il s'agit de la dislocation d'un énorme bloc de rocher dont l'existence dans une position peu stable compromettait la sécurité d'une route et d'une voie ferrée établie sur l'accotement de celle-ci.

Ce bloc avait 17 *m* environ de hauteur, 16 *m* de largeur sur un côté et 6 *m* sur un autre faisant face à la route; il était entièrement séparé d'un massif rocheux par une faille et reposait sur une base très réduite formant piédestal. Le poids de ce bloc pouvait être évalué à 3 800 *t*.

On pouvait craindre que, s'il venait à glisser sur sa base sous l'influence d'une cause quelconque, la gelée par exemple, sa chute n'amenât des dommages très graves, entre autres la destruction du chemin de grande communication n° 83 et de la ligne de Périgueux à Saint-Pardoux faisant partie du réseau des Chemins de fer du Périgord établie le long de ce chemin à une distance d'environ 50 *m* du bloc. Deux

(1) Nous avons mentionné dans la chronique de février 1897, page 214, que dans quelques unes de ces régions on avait intérêt à se servir de maïs comme combustible.

autres blocs plus petits, de 120 et 72 m^3, étaient situés entre le bloc principal et la route.

Le service vicinal de la Dordogne se mit d'accord avec la direction des chemins de fer du Périgord pour la destruction de ces blocs et la direction fut chargée de l'exécution du travail. La dépense, évaluée à 3000 *f*, devait être partagée entre les deux administrations, dans le rapport de deux tiers pour le département et un tiers pour le chemin de fer.

On fit d'abord sauter à la dynamite les deux petits blocs, ce qui ne présenta aucune difficulté, mais fournit des indications utiles pour le mode d'attaque du gros bloc. Les débris de ces rochers furent utilisés pour l'érection d'épaulements ou fortifications destinés à retenir les fragments provenant de la désagrégation du gros bloc.

Après une étude attentive de la configuration du rocher à disloquer, on disposa les trous de mines sur trois étages; leur nombre total fut de 70 avec une profondeur variable. La longueur totale atteignait 227 *m*, ce qui donne une longueur moyenne de 3,24 *m* par trou. La détermination de la charge a été faite par l'emploi de la formule $C = 0{,}6\, h^3$, dans laquelle C représente le poids d'explosif par trou, 0,6 un coefficient pratique de réduction et *h* la ligne de plus courte décharge du foyer d'explosion. La valeur de ces lignes a varié entre 1,30 et 1,90 *m*. Cette formule empirique donne le poids de dynamite à employer, mais il faut que le volume correspondant ne dépasse pas le tiers du volume du trou de mine.

Le forage de ces trous a exigé l'usage d'échafaudages spéciaux formés de mâts de 18 *m* de longueur sur 0,30 *m* de diamètre en bois de mélèze, reliés par des traverses supportant des madriers formant plancher pour les trois étages. Les trous étaient percés avec des barres à deux tranchants dont la longueur a varié de 0,50 *m* à 7 *m*. Le dégagement des matières désagrégées s'opérait sous l'action d'un courant d'eau continu.

On a employé 240 *kg* de dynamite gomme à 92 0/0 de nitroglycérine, provenant de la fabrique de Paulilles et coûtant 4,50 *f* le kilog.; on s'est servi, pour l'inflammation, d'amorces à incandescence à fil de platine iridié chargées de 2 *gr* de fulminate et coûtant 175 *f* le mille.

L'allumage électrique était opéré par une batterie d'accumulateurs de 10 éléments du type de 240 ampères et 2 volts employé pour automobiles et pour éclairage électrique de trains de chemins de fer. Cette batterie était placée dans une grotte à 30 *m* de distance du rocher. Un câble de 16 *mm* reliait la batterie à deux fils de ligne montés sur des isolateurs et se rattachant aux amorces par deux fils de 1/2 *mm*; la cartouche amorcée était recouverte d'un bourrage en plâtre.

Malgré la présence des épaulements dont nous avons parlé plus haut, on jugea prudent de protéger la voie ferrée en la recouvrant, sur la longueur que pouvait menacer la projection des débris, de vieilles traverses, madriers, etc.

L'explosion eut lieu le 23 juin dernier à 4 heures de l'après-midi en présence des autorités et d'une foule nombreuse. Elle a produit l'impression d'une immense gerbe soulevée dans l'air par une main invisible à plus de 10 *m* au-dessus du sommet du rocher. La partie inférieure était

entourée, comme par une collerette, d'un nuage épais de fumée et de poussière calcaire. Après une ascension rapide, variant de 10 à 20 *m*, tous les débris retombèrent en décrivant une immense parabole dans les épaulements préparés pour les recevoir. Le bruit de l'explosion fut sourd mais se fit entendre à 8 ou 10 *km* ; les chocs des débris entre eux ressemblaient à des crépitements de feux d'artifice. On avait eu soin de disposer un appareil cinématographique pour recueillir les détails de l'opération.

Les épaulements ont recueilli, le premier les deux tiers de la masse projetée, le second un quart et les troisième et quatrième quelques débris seulement. Il n'y eut aucun dommage à la route, à la voie ferrée et aux cultures situées en contre-bas de la route.

Le succès a été complet ; la dépense n'a pas dépassé les prévisions. Le travail a duré 20 jours à 11 heures de travail par jour, pour 1 surveillant, 8 mineurs, 12 terrassiers et 1 forgeron. L'opération fait honneur à MM. Brun, Directeur, et Monteil, Ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer du Périgord, qui l'ont effectuée avec le concours de M. Couvy, Agent voyer d'arrondissement.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

JUILLET 1901.

Séance générale des prix du 28 juin 1901. — Discours, prix et médailles.

Rapport de M. C. ROZÉ sur **les appareils de pesage et de contrôle** inventés et construits par M. EDMOND CHAMEROY.

Un des points auxquels s'est attaché spécialement M. Chameroy dans la construction de ses appareils de pesage est, comme on sait, l'inscription de la pesée. Il a réussi à l'obtenir par diverses solutions satisfaisant à des conditions souvent difficiles à concilier, telles que : simplicité, rapidité, netteté des résultats, etc., et a même apporté à ses inventions des modifications propres à les rendre applicables aux instruments construits antérieurement.

Nous citerons aussi un ensemble de dispositions mécaniques propres à enregistrer le passage de wagons ou wagonnets en un point de la voie ferrée, par exemple, au lieu d'installation d'un pont bascule. Cet appareil peut servir notamment à contrôler si tous les wagons qui ont circulé ont bien été soumis à la pesée. Toutes ces dispositions présentent un grand intérêt.

Expériences sur le travail des machines-outils, par M. CODRON *(suite)*.

Cette partie s'occupe du cisaillage.

Etudes sur **la composition du lait et des produits de la laiterie**, par M. A. ROLET *(suite et fin)*.

Réaction du sulfate de chaux sur les ciments, par M. DEVAL.

L'aluminate de chaux, en s'hydratant, peut fixer trois équivalents de sulfate de chaux en se transformant en sulfo-aluminate de chaux ; on a pensé qu'on pouvait baser sur cette réaction un moyen de doser l'aluminate de chaux contenu dans les ciments de Portland, en mettant le ciment en contact avec une quantité de sulfate de chaux précipité un peu supérieure à celle qui serait fixée par l'alumine du ciment supposée à l'état d'aluminate de chaux, à maintenir le tout humide et à doser, au bout d'un certain temps, l'acide sulfurique du sulfate de chaux fixé. Mais on doit s'assurer si les ciments ne contiennent pas d'autres corps que l'alumine capables de fixer l'acide sulfurique, tels, par exemple, que le silicate de chaux, le carbonate de chaux, le peroxyde de fer, le sulfo-aluminate de chaux et le ferrite de chaux.

Les recherches qui font l'objet de la note ont fait reconnaitre que les ciments anhydres fixent le sulfate de chaux plus lentement que les ciments hydratés ; qu'avec ces derniers la pâte maintenue humide retient une quantité de sulfate de chaux qui peut rendre inexact le dosage de l'acide sulfurique fixé par l'aluminate de chaux. Il est vrai que, si la quantité d'acide sulfurique ainsi retenu par la pâte dépasse les prévisions du calcul, on peut, par des macérations successive dans l'eau de chaux, dissoudre l'excès de sulfate de chaux et ramener le dosage aux chiffres donnés par le calcul.

Valeur relative, au point de vue du tannage, des différentes matières tannantes.

Il s'agit d'un mémoire publié dans le *Journal of the Society of Chemical industry* et concernant des recherches faites, au Laboratoire des industries du cuir à Londres, aux frais de la Compagnie des négociants en cuir.

Propriétés des aciers coulés, d'après M. J.-O. Arnold. (Extrait des publications de l'*Iron and Steel Institute*.)

Dans certains cas, des aciers coulés peuvent présenter des propriétés presque identiques à celles des aciers forgés, mais c'est l'exception ; en général, les propriétés mécaniques des aciers coulés sont très inférieures à celles des aciers forgés, et ceci est d'autant plus remarquable que des aciers coulés et forgés de propriétés mécaniques très différentes peuvent présenter la même densité, la même composition chimique et la même microstructure.

Nouveau traitement de la niobite. Préparation et propriétés de la fonte de niobine, par M. H. Moissan. *(Comptes rendus de l'Académie des Sciences.)*

Notes de mécanique. — On trouve dans cette partie une note sur des essais de roues tangentielles genre Pelton, la description du laminoir Hodgson et Norton, de la presse Hughes à faire les billettes, du chauffage des chaudières au charbon pulvérisé à la fabrique de ciment *Alpha,* d'un allège pour la manutention des charbons système Clarke, une note sur le poinçonnage des métaux d'après M. Loos, la description du laminoir pour tôles de la Carnegie Steel Company à Homestead, des grues électriques pour la manutention des charbons au port de Rotterdam et enfin d'un nouveau joint pour transmission de mouvement à angle variable de M. G. Kœnigs.

Aout 1901.

Rapport de M. Daubrée sur **les comptes de l'exercice 1900.**

Le nombre des sociétaires est de 681 ; les recettes se sont élevées à 107 246 *f*, sur lesquels les cotisations figurent pour **24 516 *f***, les arrérages de rentes pour **61 327 *f***, les locations diverses pour **11 454 *f***, etc. Les dépenses se sont élevées à **107 246 *f*** dont **13 052 *f*** pour les prix, médailles, et récompenses diverses, **41 600 *f*** pour le bulletin et les impressions diverses, 7 400 *f* pour frais d'expériences.

Rapport sur un **programme d'expériences** relatives à l'étude de la constitution chimique des argiles de France, par M. Vogt, directeur des services techniques de la manufacture de Sèvres.

A la suite de ce rapport, la Société d'Encouragement a adopté, sur l'avis de son Comité des arts chimiques, de mettre à la disposition de M. Lavezard, attaché au laboratoire de la manufacture de Sèvres, une somme de 3 000 *f* pour une étude chimique des argiles de France.

Rapport de M. Brull sur **la noria, système Lemaire.**

Cette noria est constituée par des godets très petits, 1/20 de litre seulement, qui, articulés sur une chaine sans fin, basculent dès que leur centre de gravité dépasse la verticale de l'axe d'articulation. Ces dispositions ont pour objet de capter, sans pertes, l'eau qui remplit les godets. Ces appareils fonctionnent d'une manière très satisfaisante et l'extrême petitesse des godets permettrait à ce genre de noria de puiser dans des tubes de faible diamètre, comme, par exemple, dans ceux de sondages.

Expériences sur le travail des machines-outils, par M. Codron.

L'auteur continue dans cette partie l'étude du cisaillage des métaux.

La convention du mètre et le bureau international des poids et mesures, par M. Ch.-Ed. Guillaume.

Cette étude d'un Ingénieur dont nous avons eu fréquemment l'occasion de reproduire, dans notre chronique, des conférences ou notes sur des questions de haute physique, décrit d'abord les étalons des archives de France dont les premiers sont dus à Borda, et examine ensuite les progrès de la métrologie depuis la création du système métrique jusqu'à l'organisation internationale établie en 1875 ; elle se termine par une description sommaire du bureau international des poids et mesures établi comme on sait, au pavillon de Breteuil dans le parc de Saint-Cloud.

Le four rotatif Lessing et Rheinfeld.

Ce four est employé dans les industries chimiques et notamment pour la fabrication des ciments. Il a pour particularité de pouvoir, non-seulement tourner autour de son axe longitudinal, mais encore d'osciller autour d'un axe perpendiculaire au premier, de manière à pouvoir avoir son intérieur mis en communication ou non avec un foyer.

Le cuivre et l'oxygène, d'après M. E. Heyn, Ingénieur à Charlottenbourg.

Sur la trempe du bronze, d'après C.-T. Heycock et F. H. Neuville.

Notes de mécanique. — Ces notes contiennent la description de l'interféromètre Michelson, destiné à mesurer des dimensions au millième de millimètre et basé sur le principe des franges d'interférences,

telles qu'elles se produisent dans le phénomène bien connu des anneaux de Newton ; une note sur les canaux en bois pour irrigation employés aux États-Uns ; sur un essai comparatif du tirage naturel et du tirage par ventilation exécuté en avril 1900 sur des chaudières de la station électrique de Nuremberg et sur une étude critique de la théorie générale des mécanismes, note de M. G. Kœnigs.

ANNALES DES MINES

4me livraison de 1901.

Discours prononcé aux funérailles de M. Moutard, Inspecteur général des mines, par M. Ad. Carnot, Inspecteur général des mines, Membre de l'Institut.

Étude géologique sur le Nord de la Chine, par M. Leprince-Ringuet, Ingénieur des mines.

Note sur **la flore houillère du Chansi,** par M. R. Zeiller, Ingénieur en chef des mines.

5me livraison de 1901.

Contribution à **l'étude du fonctionnement économique des machines à vapeur à détente successive,** par M. Lelong, Ingénieur principal de la marine, professeur à l'École d'application du génie maritime.

Cette note étudie d'abord le mode d'évaluation du rendement global d'une machine à vapeur quelconque, puis cherche ensuite les moyens de séparer les différentes causes de perte de rendement et de mesurer leur influence relative, et finit en donnant quelques applications faites sur des machines récentes.

Nous ne pouvons suivre ici le détail des différentes parties de cette savante note. Nous nous bornerons à indiquer que, d'après l'auteur, les pertes calorifiques donnent lieu dans leur ensemble à une perte très faible; les effets de parois, dont l'importance est si considérable sur les machines à simple détente, sont très réduits grâce à la réduction de chute de température dans chaque cylindre due à l'emploi de l'expansion multiple ; par suite, les questions des enveloppes de vapeur et du rechauffage intermédiaire sont devenues beaucoup moins importantes que par le passé. Cette faible importance des effets de parois explique dans une certaine mesure pourquoi les réductions de courses de piston admises dans les machines modernes n'ont pas eu pratiquement, au point de vue économique l'influence fâcheuse qu'on semblait craindre *a priori*. L'auteur estime qu'on peut fixer approximativement à 15 la valeur de la détente maximum pratique pour les machines marines.

Note sur **les tellurures d'or et d'argent** de la région de Kalgoorlie (Australie occidentale), par M. Ad. CARNOT, Inspecteur général des mines, Membre de l'Institut.

Cette note donne la description de quelques échantillons de tellurures offerts au musée de l'École des Mines par la Commission de l'Australie occidentale et qui figuraient à l'Exposition de 1900 au Trocadéro et l'indication de la méthode employée pour leur analyse. Ces minerais sont remarquables par leur forte teneur en or et argent. La proportion du premier y atteint jusqu'à 34 0/0 et celle du second 13. On y trouve également du mercure en proportion notable, jusqu'à 3,7 0/0.

Note sur **l'emploi des inhalations d'oxygène** dans les cas d'empoisonnement par l'oxyde de carbone, par M. le docteur H. LEROUX.

Il y a déjà longtemps qu'on a préconisé l'emploi de l'oxygène pour combattre l'effet de l'oxyde de carbone. L'auteur donne quelques indications sur la manière dont l'application peut être faite dans le cas des explosions de grisou qui développent une quantité notable d'oxyde de carbone.

Note sur **le traitement par l'oxygène** à la pression atmosphérique de l'homme empoisonné par l'oxyde de carbone, par M. le docteur M. GREHANT, professeur au Museum d'histoire naturelle. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.)*

D'expériences faites par l'auteur sur des chiens, il conclut que l'élimination et la disparition de l'oxyde de carbone dans le sang sont considérablement accélérées par l'emploi de l'oxygène qui s'impose dans le traitement de l'intoxication oxycarbonée. L'air pur n'agit qu'avec une activité très inférieure.

Notice nécrologique sur Thomas Egleston, ancien élève de l'École des Mines de Paris, Fondateur de l'École des Mines de New-York, par M. Ed. SAUVAGE, Ingénieur en chef des Mines.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 27. — *6 juillet 1901.*

Station centrale d'électricité de Hagneck (Suisse), par H. Rupp.

Canal de Dortmund à l'Ems. — Outillage mécanique du port de Dortmund, par H. Hoffmann.

Exposition universelle de 1900. — Machines pour la fabrication du papier, par A. Pfarr *(suite).*

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Progrès de l'industrie chimique d'après l'Exposition universelle de Paris. — Fenêtres de sauvetage pour incendies.

Bibliographie. — Principes de cinématique, par H. Weiss.
Revue. — Écroulement d'une passerelle en ciment armé.

N° 28. — *13 juillet 1901.*

Étude et construction des dynamos à courant alternatif, par O. Lasche.

Progrès dans la construction des régulateurs de volants, par Ferd. Strnad.

Exposition universelle de 1900. — Les moteurs à explosion, par Fr. Freytag *(suite).*

Les machines agricoles à la 14me exposition de la Société allemande d'agriculture, à Posen, par H. Grundke *(suite).*

Groupe de Dresde. — Réchauffeurs d'eau d'alimentation.

Revue. — Canonnière Yarrow. — Le chemin de fer aérien de Manhattan, à New-York.

N° 29. — *20 juillet 1901.*

Canal de Dortmund à l'Ems. — Écluses à manœuvre électrique de Münster et de Gleesen, par Rudolph.

Étude et construction des dynamos à courant alternatif, par O. Lasche *(fin).*

Exposition universelle de 1900. — Appareils de levage, par Kammerer *(suite).*

Étude de la résistance des matériaux, par W. Voigt.

Groupe de Poméranie. — Nouveaux appareils d'expériences pour l'essai des machines et chaudières.

Revue. — Le chemin de fer aérien de Manhattan à New-York. — Emploi des gaz de lignite dans les moteurs à explosion. — Locomotive à voyageurs des chemins de fer de l'État Égyptien, par Henschel et fils, à Cassel.

N° 30. — *27 juillet 1901.*

Progrès récents dans la question de la télégraphie par étincelles, par A. Slaby.

Concours pour le projet d'un pont-route sur le Neckar à Mannheim, par C. Bernhard *(suite).*

Exposition universelle de 1900. — Les moteurs à explosion, par Fr. Freytag *(suite).*

Essais au frein sur une machine compound demi-fixe à vapeur surchauffée, par R. Wolf, à Magdebourg.

Groupe de Hambourg. — Emploi du caoutchouc dans la construction des machines et des appareils électriques. — Les essais du navire aérien du comte Zeppelin.

Revue. — Drague à cuiller. — Machine à vapeurs combinées. — Appareil à décharger le coke des cornues. — Frein dynamométrique de Siemens et Halske.

N° 31. — *3 août 1901.*

Étude critique des nouveaux freins de sûreté pour grues, par Ad. Ernst.

Exposition universelle de 1900. — Application des courants à haute tension, par R.-M. Friess *(suite).*

Les turbines de 300 *ch* du Niagara, par R. Thomann.

Aperçu sur le calcul des efforts maximum dans la section transversale d'une tige droite soumise à la torsion, par Autenrieth.

Les machines agricoles à la 14[me] exposition de la Société allemande d'agriculture, à Posen, par M. Grundke *(suite).*

Groupe de Breslau. — L'alimentation d'eau de Paris.

Groupe de Hanovre. — L'emploi des mots étrangers et des langues anciennes dans les sciences appliquées. — Grue à commande électrique. — Soie artificielle. — Matières bitumineuses. — L'acier coulé.

N° 32. — *10 août 1901.*

Exposition universelle de 1900. — Les voitures de chemins de fer, par E. Brückmann *(suite).*

Étude critique des nouveaux freins de sûreté pour grues, par Ad. Ernst *(fin).*

Concours pour le projet d'un pont-route sur le Neckar, près Mannheim, par C. Bernhard *(suite).*

Groupe de la Thuringe moyenne. — Essais de vaporisation sur une chaudière Dürr.

Groupe de Poméranie. — Balisage des passes navigables entre Stettin et Swinemunde.

Bibliographie. — Manuel de mécanique élémentaire, par A. Wernicke.

Revue. — Wagon d'expériences de l'Université de l'État d'Illinois et de l'Illinois Central R. R. Cy.

N° 33. — *17 Août 1901.*

Construction des navires de guerre, par Hüllmann.

Le pont du Peissitz, à Halle-sur-Saale, par M. Ziegler.

Exposition universelle de 1900. — Machines de filature, par G. Rohn *(suite).*

Groupe de Berlin. — Notes sur l'Exposition universelle de Paris.

Groupe de la Lenne. — La navigation aérienne.

Groupe du Rhin inférieur. — Aciéries de Bethlehem.

Groupe de Schleswig-Holstein. — Le développement de la chaudière Dürr.

Bibliographie. — Développement de la mécanique, par E. Mach.

Revue. — Modèles de fonderie. — Installations électriques à Hambourg. — Les chaudières à vapeur en Suisse. — Les plus grandes Compagnies de navigation du monde.

N° 34. — *24 août 1901.*

Nouvelles installations de turbines.

Exposition universelle de 1900. — Appareils de levage, par Kammerer *(suite).*

Procédés pour le travail des pièces de machines.

Groupe de Carlsruhe. — Recherches et expériences sur la canalisation des eaux de Pirmasen. — Installations électriques de Carlsruhe.

Bibliographie. — Alimentation d'eau des villes, par E. Turnaure et H.-L. Russel.

Revue. — Règles pour l'essai des machines électriques et transformateurs.

Pour la Chronique et les Comptes Rendus :

A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

IIe SECTION

Leçons sur les moteurs à gaz et à pétrole, par M. MARCHIS, Professeur adjoint de physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux (1).

Ces leçons sur les moteurs à gaz et à pétrole ont été professées par M. Marchis, à la Faculté des Sciences de Bordeaux, sur les indications de MM. Clavel, Loiseleur et Vidal, Ingénieurs des Ponts et Chaussées.

L'auteur, dans une introduction fort étendue, a donné une vue d'ensemble de l'histoire du moteur à gaz ainsi que de l'état de la question actuelle, signalant en quelques mots les diverses catégories de moteurs à explosion : moteurs à 2 temps, à 4 temps, à combustion, à gaz pauvre, à essence, à alcool, etc.

L'ouvrage proprement dit est de nature essentiellement théorique, et les huit chapitres dont il se compose sont des exposés et des études des différentes théories relatives aux divers types de moteurs.

Après avoir développé les principes de l'équivalence de la chaleur et du travail, l'auteur fait successivement l'étude du moteur à 4 temps avec compression préalable (Beau de Rochas-Otto), dans lequel la course de détente est égale à la course de compression, l'étude du moteur Charon dans lequel la course de compression est plus petite que la course de détente par suite de dispositifs de remisage, l'étude du moteur à 2 temps, type Brayton, dans lequel le mélange de gaz comprimé brûle sous pression constante, enfin l'étude du moteur à combustion, type Diesel.

Ces quatre chapitres sont complétés par une étude de la régulation des moteurs, pour rechercher dans chaque cas les variations du rendement thermique, ainsi que par une étude calométrique des diagrammes réels, c'est-à-dire la recherche des rendements par le relevé de diagrammes en marche industrielle.

Un dernier chapitre se rapporte à l'énoncé du principe de Carnot-Clausius à son extension et à l'application du diagramme entropique aux moteurs à gaz.

L'auteur a indiqué à la fin de son introduction qu'il s'était proposé de définir par chaque type de moteur, le diagramme théorique de ce type, d'analyser les diverses transformations qui le composent et d'en déduire une expression de rendements thermiques théoriques par une application « correcte » des principes de la thermo-dynamique. Des erreurs, d'après lui, se manifesteraient fréquemment dans ces études si importantes des moteurs à explosion et, notamment, à propos de l'étude du diagramme entropique qui a fait l'objet d'une communication du

(1) Paris, Gauthier-Villars, 1901. Petit in-16 de L-175 pages avec 19 figures, prix 2 fr. 75.

même auteur à l'Académie des Sciences, au cours de laquelle il donne une série de renseignements inédits.

Le livre en question qui est fort bien rédigé doit trouver sa place à côté des ouvrages descriptifs et pratiques, mais son emploi se limitera évidemment à ceux qu'intéressent les questions théoriques de physique industrielle et de thermo-dynamique.

Lucien Périssé.

IIIe SECTION

Géologie de la République sud-africaine du Transvaal, par le Docteur G.-A.-F. Molengraaff, Géologue de l'État (1).

M. le Docteur G.-A.-F. Molengraaf vient de publier sur le Transvaal un mémoire des plus remarquables, aussi bien au point de vue de la géologie appliquée qu'à celui de la géologie théorique. Chargé par le Gouvernement de la République sud-africaine d'organiser un service géologique, il a voulu se rendre compte par lui-même de la constitution du pays et il l'a parcouru pendant les années 1898 et 1899. C'est le résultat de ses explorations qu'il fait paraître aujourd'hui.

Naturellement les gites aurifères occupent une place importante dans cette étude; mais, tandis que la plupart des travaux antérieurs n'étaient que des monographies des différents reefs, celui de M. Molengraaff en reprend la description et de plus en établit la position relative. Cette dernière question joue un très grand rôle dans le Transvaal où les gites aurifères sont ou des dépôts sédimentaires ou des filons couches ou encore de simples filons cantonnés dans des horizons bien définis.

La carte en couleurs qui accompagne le mémoire et qui est inédite aux points de vue topographique et géologique, en augmente l'intérêt, car elle précise la répartition des horizons géologiques dans lesquels les recherches peuvent être faites.

On comprend, sans qu'il soit nécessaire d'y insister davantage, l'importance de tels documents pour les prospecteurs comme pour tous ceux qui s'occupent des mines d'or.

L'ouvrage de M. Molengraaff renferme encore d'autres renseignements, non moins précis, sur les gites de mercure, d'antimoine, de chrome, de cobalt, de cuivre, de fer, de manganèse, de plomb et d'argent. Ces richesses métalliques pourront être utilisées, pour ainsi dire sur place, grâce à de puissants dépôts de houille qui affleurent dans le sud de l'Afrique.

Enfin, à peu de distance de Prétoria, dans l'état du Transvaal, a été rencontrée la même roche diamantifère que celle qui occupe les cheminées de la Colonie du Cap et de la République d'Orange.

Il ne peut être question ici que du point de vue industriel; mais, au

(1) Étant donné l'intérêt tout spécial de ce mémoire, il en a été fait des tirages à part qui sont en vente au siège de la Société Géologique, 28, rue Serpente à Paris. Brochure in-8° (255 × 165) de 79 pages, une carte topographique et géologique en couleurs, une planche de coupes, 19 figures dans le texte. Extrait du *Bulletin de la Société Géologique de France*, 1901.

point de vue purement scientifique, l'intérêt du mémoire de M. Molengraaff n'est pas moindre. Je citerai comme particulièrement curieux le chapitre relatif au granit et à son action métamorphique; celui où il est établi d'une façon irréfutable que, durant le dépôt de l'étage de Karroo inférieur, il y a eu de nombreux phénomènes glaciaires.

A la lecture de ce travail, on comprend que l'État de la République sud-africaine ait confié à M. Molengraaff la direction de son service géologique; nul n'était plus capable de faire progresser la science, au grand profit de l'industrie.

J. Bergeron.

IVe SECTION

L'alimentation en eau et l'assainissement des villes à l'Exposition Universelle de 1900. — *Compte rendu des derniers progrès et de l'état actuel de la science sur ces questions*, par le Dr Imbeaux, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Directeur du Service municipal de Nancy (1).

La place réservée, dans l'Exposition Universelle de 1900, dans la section d'hygiène, à ce qui concernait l'alimentation en eau et l'assainissement des villes était fort restreinte et, si l'on eût jugé des progrès accomplis à l'emplacement occupé et au nombre des exposants, on eût été porté à croire que cette branche de l'hygiène en était au même point qu'il y a vingt ans. Mais il n'en est rien : exceptionnellement les exposants n'ont pas cherché à exagérer la valeur de leurs efforts; ils ont même été d'une modestie trop grande, qui eût risqué de les laisser ignorer. Heureusement que M. le Dr Imbeaux, chargé de faire un rapport pour la *Revue technique de l'Exposition* sur ces questions d'hygiène, était au courant de ce qui a été fait depuis quelques années et il a regardé par dessus les murs de clôture de l'Exposition. Il nous dit, dans un premier volume, consacré uniquement à l'alimentation des villes en eau, tout ce qu'il a vu ou plutôt tout ce qu'il sait, et c'est beaucoup.

Après avoir consacré quelques pages à l'énumération de ce qui concernait l'hygiène dans les différents pays, M. le Dr Imbeaux traite, conformément à ses principes qui résultent de son expérience personnelle, la question de l'alimentation en eau des villes ; il le fait avec tant de méthode que son livre en devient un vrai traité en la matière.

En premier lieu, il recherche la provenance des eaux, puis il montre comment il faut procéder à l'étude hydrogéologique d'une région pour s'assurer quelles peuvent être ses ressources en eau potable. A ce sujet, il énumère les niveaux géologiques qui, dans le N.-E de la France, renferment des nappes aquifères.

Un autre paragraphe est consacré au choix et à la captation des eaux. Il renferme des notions sommaires sur les différents procédés de captation. Parmi les plus intéressants, il faut citer celui qui consiste à drainer les eaux par des galeries creusées dans les roches aquifères. M. Imbeaux n'a eu, pour en donner un exemple remarquable, qu'à décrire les

(1) Extrait de la *Revue technique de l'Exposition Universelle de 1900.*

travaux qu'il a exécutés pour le compte de la ville de Nancy, en vue d'aller chercher les nappes aquifères des calcaires bathoniens de la forêt de Haye.

Le paragraphe relatif à l'amélioration de l'eau naturelle montre comment il y a lieu de procéder à la clarification, la filtration ou stérilisation, l'épuration ou mieux la correction, l'aération, la réfrigération ou le réchauffement de l'eau. Ce sont autant de questions dont l'importance va toujours en grandissant. Chaque procédé est décrit de manière à pouvoir être appliqué par quiconque en aurait besoin.

Ce qui concerne l'élévation, l'adduction, l'emmagasinement et la distribution de l'eau est bien moins développé que ce qui précède; c'est que les problèmes à résoudre ne sont pas nouveaux et par suite, les progrès y ont été assez peu importants.

Le paragraphe qui traite de la qualité de l'eau et qui a pour sous-titre : « Recherche et contrôle de cette qualité; rapports avec la santé publique et la législation, » est des plus instructifs. Il y est fait mention de toutes les méthodes d'analyse chimique dont plusieurs sont encore peu connues en France. L'auteur a eu soin d'indiquer d'une façon spéciale celles qui lui paraissent susceptibles d'être universellement adoptées. Dans le même paragraphe, M. Imbeaux passe en revue les méthodes propres à déceler la présence des microbes et il donne les caractères distinctifs des principaux bacilles pathogènes ou non. Dans la façon dont il interprète la présence de ces bacilles, il semble se tenir dans un juste milieu, et il montre comment ces microbes peuvent fournir de précieux renseignements sur la provenance des eaux et par suite sur les craintes de contamination que l'on peut éprouver à leur égard.

M. Imbeaux dans un paragraphe spécial parle des recherches expérimentales sur l'origine et le trajet des eaux souterraines. La Société a pu juger de l'intérêt de la question grâce aux communications de nos Collègues, MM. Brard et Marboutin.

Après avoir traité des maladies d'origine hydrique, l'auteur insiste sur l'importance qu'il y aurait à ce que toute grande ville possédât un bureau d'hygiène où seraient concentrées les déclarations relatives aux maladies épidémiques; il devrait être en relation avec le service de la distribution d'eau de telle sorte qu'à l'annonce de tout cas suspect de maladie d'origine hydrique, toute amenée d'eau soupçonnée d'en être la cause, fût fermée.

L'auteur termine en réclamant une protection plus efficace des nappes aquifères et des sources. Le Directeur du Service de Santé au Ministère de l'Intérieur a déjà fait beaucoup en imposant l'étude géologique, chimique et bactériologique de toute source dont le captage est demandé; mais il faut encore empêcher la contamination d'une eau une fois qu'elle a été reconnue bonne pour l'alimentation.

L'analyse qui précède donne une idée de la valeur de l'ouvrage de M. Imbeaux; on peut dire de plus qu'il était nécessaire. En effet la question des eaux potables intéresse tout le monde; mais comment faut-il procéder pour se conformer aux règles de l'hygiène ? C'est ce que M. Imbeaux nous enseigne avec une compétence hors de pair.

J. Bergeron.

Le système métrique des poids et mesures, par M. G. Bigourdan, astronome titulaire à l'Observatoire de Paris.

Ce livre, très documenté, est surtout un travail d'érudition, où l'auteur publie nombre de documents originaux fort curieux, qui éclairent certaines parties restées obscures dans l'histoire du système métrique. C'est aussi un hommage à l'une des œuvres les plus considérables et les plus fécondes de la Science française. Aussi, ne nous semble-t-il pas inutile de refaire ici, avec M. Bigourdan, l'historique de cette œuvre.

Décrété par l'Assemblée constituante, sur la proposition de Talleyrand, le principe d'un système de mesures général soustrait à l'altération du temps fut renvoyé pour examen à l'Académie des Sciences, et donna lieu à divers rapports de vues très élevées, signés de Borda, Lagrange, Lavoisier, Laplace, Monge, Condorcet, etc. L'Assemblée Nationale adopta le quart du méridien terrestre comme base du nouveau système, et ordonna l'exécution immédiate de toutes les opérations indiquées par l'Académie, notamment la mesure de l'arc du méridien de Dunkerque à Barcelone.

La triangulation et les déterminations de latitudes, la mesure des bases, la détermination de la longueur du pendule à seconde, la recherche de l'unité de poids furent confiées aux plus grands savants français de l'époque : Legendre, Monge, Meusnier, Cassini, Borda, Coulomb, Lavoisier, Haüy, Berthollet, Delambre, Méchain, etc. C'est à ces deux derniers qu'incombèrent les travaux géodésiques et astronomiques pour la mesure de la méridienne, de Dunkerque à Rodez pour Delambre, de Rodez à Barcelone pour Méchain. M. Bigourdan agrémente le récit de ces opérations délicates par quelques piquantes anecdotes.

Comme sanction à ces longs travaux, la loi du 19 Frimaire an VIII fixa deux étalons, celui du mètre et celui du kilogramme. Quatre ans plus tard, le premier Consul ordonna que ces étalons et toutes les règles ayant servi aux diverses mesures de la terre seraient déposés à l'Observatoire, sous la surveillance du Bureau des Longitudes.

Le nouveau système heurtait toutes les habitudes, et fut fort mal accueilli. Pour donner satisfaction au public, il fallut y apporter des atténuations, et l'on créa, en 1812, des mesures légales, dites usuelles : toise, pied, aune, boisseau, livre, once, etc. La confusion et l'anarchie n'en furent que plus grandes, et, pour en finir, on rétablit, en 1837, le système métrique dans toute sa pureté, avec une réglementation sévère; des prototypes furent construits, et le service de la vérification des poids et mesures fut créé.

Dès l'origine, le gouvernement français avait fait des tentatives pour répandre à l'étranger l'usage des nouvelles mesures. Après bien des vicissitudes, et sur le vœu exprimé par les Académies des Sciences de Paris et de Saint-Pétersbourg, d'une part, et la Conférence géodésique d'autre part, Napoléon III invita toutes les puissances à déléguer à Paris des représentants. Vingt-quatre États répondirent à cette invitation, et, en 1870, la célèbre Commission internationale du mètre se trouva ainsi constituée. Malgré la guerre qui venait d'éclater, elle tint sa première réunion le 8 août, mais les événements l'obligèrent presque aus-

sitôt à se séparer. Les travaux, poursuivis entre temps par un Comité permanent, ne furent repris qu'en septembre 1872.

Les Commissions internationales de 1870 et de 1872, ainsi que les Comités permanents qui en étaient la délégation, comprenaient des savants éminents, qui élaborèrent un programme scientifique, mais n'avaient pas qualité pour engager leurs gouvernements respectifs. C'est alors que la France fit adopter par les principaux États la réunion à Paris, en 1875, de plénipotentiaires, assistés de délégués techniques, pour donner à l'unification du système métrique le caractère d'un acte international. Telle fut la Conférence diplomatique du mètre, qui rédigea une convention signée par la plupart des grands États, notamment par l'Allemagne, l'Angleterre, l'Autriche, l'Espagne, les États-Unis, l'Italie, la Russie, etc. Elle décida la création, à Paris, d'un Bureau international des poids et mesures, placé sous l'autorité d'une Conférence générale des Poids et Mesures formée de délégués nommés par tous les Gouvernements contractants. La présidence de la Conférence générale fut attribuée au Président en exercice de l'Académie des Sciences de Paris. C'était pour la Science française une éclatante victoire, et peu d'entreprises ont porté plus haut et plus loin le bon renom de notre pays.

Le Bureau international est établi sur l'emplacement de l'ancien Pavillon de Breteuil, à l'entrée du parc de Saint-Cloud. On l'a doté d'instruments de haute précision, notamment de compensateurs, dus aux meilleurs constructeurs français et étrangers. Les étalons prototypes, dont la construction a coûté vingt ans de recherches et de travaux, ont été enfermés il y a quelques années, avec leurs témoins, dans le caveau de l'édifice. Parmi les autres travaux exécutés au Bureau international, M. Bigourdan cite l'étude précise de la dilatation d'un grand nombre de métaux et d'alliages, notamment des alliages acier-nickel, auxquels M. Guillaume s'est plus spécialement consacré, et qui sont dès maintenant utilisés dans l'industrie, en horlogerie par exemple. Un des alliages acier-nickel, l'*invar*, est tout à fait remarquable par la petitesse de son coefficient de dilatation.

Les savants du Pavillon de Breteuil poursuivent leur tâche, en mettant à profit tous les progrès : c'est ainsi qu'ils ont repris une ancienne proposition de Clerk Maxwell, et ont rapporté le mètre à un remarquable témoin naturel, la longueur d'onde de certaines radiations lumineuses. Comme le disait ici même le Directeur de cet établissement, notre Collègue M. René Benoit (procès-verbal de la séance du 17 mai 1901), ce travail a été exécuté suivant les méthodes et avec la collaboration effective du professeur Nicholson, de Chicago, à l'approximation du millionième.

Les services rendus au pays et à la science par la grande œuvre de l'unification des mesures et de l'extension du système métrique, depuis le décret de la Constituante jusqu'à nos jours, sont de ceux qu'on n'appréciera jamais trop : aussi n'avons-nous pas hésité à réserver une large place dans ces comptes rendus bibliographiques au beau livre de M. Bigourdan.

R. Soreau.

Vade-mecum financier de l'assureur et de l'assuré contre les accidents du travail, d'après les tarifs officiels, par M. G. Deport (1).

La loi du 9 avril 1898 concernant la responsabilité des accidents du travail autorise le rachat des rentes inférieures à 100 francs. Il est donc intéressant de pouvoir connaître, facilement et rapidement, la valeur actuelle d'une rente de cette catégorie. C'est le but que s'est proposé M. G. Deport, chef de l'actuariat et de la statistique à la Compagnie *la Prévoyance*, en publiant l'ouvrage mentionné ci-dessus. Ayant observé qu'au delà de 60 0/0 d'invalidité les rentes dépassent toujours 100 francs, l'auteur a limité son barème à ce degré d'invalidité, se réservant, d'ailleurs, de le compléter par un second volume qui comprendrait les taux d'invalidité de 60 à 95 0/0.

Le *Vade-mecum financier de l'assureur et de l'assuré*, remarquable par la simplicité et la clarté de sa disposition, est divisé en quatre tables.

La table I donne les prix de 1 franc de rente viagère au profit des veuves ou ascendants des victimes d'accidents mortels.

La table I *bis* donne les prix de 1 franc de rente individuelle et temporaire (jusqu'à la seizième année), au profit d'un enfant ou descendant de la victime d'un accident mortel.

La table II donne les prix de 1 franc de rente viagère au profit des victimes d'accidents ayant entraîné une incapacité permanente et totale de travail.

Enfin, la table III donne les prix de 1 franc de rente viagère au profit des victimes d'accidents ayant entraîné une incapacité permanente partielle de travail.

Cette énumération suffit pour montrer l'intérêt de cette publication et les services qu'elle est appelée à rendre à toutes les personnes que préoccupe le côté financier de la législation des accidents du travail.

H. Mamy.

Ve SECTION

Le Volta, par M. Grollet.

Cet annuaire de renseignements sur l'électricité et les industries annexes est conçu d'après un programme bien défini qui permet au lecteur de trouver immédiatement des renseignements techniques, statistiques et commerciaux sur la spécialité qu'il désire examiner.

L'ouvrage qui est très volumineux se divise en quatre livres :

Le premier consacré aux renseignements techniques se subdivise en deux parties :

Dans la première figurent les sciences et industries annexes à l'industrie électrique. Dans la seconde l'industrie électrique.

C'est à proprement parler un mémento très documenté de l'Ingénieur

(1) In-8° 255 × 165 de 150 p. Paris, Maulde, Doumenc et Cie, 1901. Prix br. 12 fr.

électricien qui comporte près de 1900 pages; après chaque spécialité on trouve l'indication des principales maisons avec la désignation des machines, appareils ou produits fabriqués.

Le nombre des tramways électriques en exploitation, les associations et syndicats avec la liste de leurs membres, la nomenclature des brevets d'invention, la bibliographie électrique, les journaux et revues sont groupés dans le livre deuxième sous le titre: Renseignements statistiques.

Le livre troisième est consacré aux renseignements commerciaux tant sur l'industrie électrique que sur les industries annexes.

Enfin le quatrième livre renferme la table analytique des matières du *Volta* et la table alphabétique des renseignements commerciaux.

La composition de cet annuaire est soignée et il convient de féliciter M. Grollet d'avoir mené à bien une tâche particulièrement ingrate.

G. Baignères.

Moteurs synchrones à courants alternatifs,
par M. A. Blondel (1).

Ce petit volume publié dans l'Encyclopédie scientifique des aide-mémoire présente un intérêt tout particulier, tant en raison du sujet traité que de la compétence incontestable, de l'auteur.

Dans l'introduction M. A. Blondel adopte la classification proposée en 1891 par M. E. Hospitalier pour les alternomoteurs monophasés et polyphasés :

1er groupe, moteurs à champ constant :
2e groupe, moteurs à champ alternatif;
3e groupe, moteurs à champ tournant.

chacun de ces trois groupes comporte des moteurs monophasés et polyphasés.

Les moteurs à champ constant qui font l'objet de l'aide-mémoire de M. Blondel sont caractérisés par ce fait que la rotation de l'armature ne peut être maintenue qu'à une vitesse synchronique aux alternativités des courants employés. C'est pour cette raison qu'on les appelle ordinairement moteurs synchrones, par opposition à ceux des deux autres groupes qu'on peut qualifier d'asynchrones.

Après avoir donné des notions générales sur les moteurs synchrones, l'auteur étudie en détail leur fonctionnement en régime permanent.

Le chapitre IV est consacré à la mise en marche et aux oscillations de vitesse des moteurs synchrones.

Les essais des moteurs synchrones font l'objet du chapitre V.

L'ouvrage se termine par l'examen de quelques moteurs à marche synchronique sans excitation par courant continu, qui ne sont pas appliqués industriellement mais qui présentent cependant un certain intérêt.

G. Baignères.

(1) In-8°, 190 × 120 de 243 pages, avec 71 figures. — Paris, Gauthier Villars, éditeur, prix 2 fr. 50.

Les Installations électriques des mines de Carmaux,
par M. Ch. Pérès.

Cet ouvrage est le texte d'une communication faite au Congrès international des Mines et de la Métallurgie en 1900.

17 planches donnent tous les détails des installations.

8 générateurs utilisent les chaleurs perdues de 114 fours à coke. Une planche décrit l'installation des générateurs sur les fours à coke.

Chaque four donne 168 *kg* de vapeur à 12 *kg* par heure, soit 2016 *kg* de vapeur par tonne de coke fabriqué. La dépense de main-d'œuvre, de graissage, nettoyage des générateurs, entretien de la robinetterie, représente 11 centimes et demi par tonne de vapeur à 12 *kg*, tandis qu'autrefois, avec des combustibles de médiocre qualité, elle revenait à 2,21 *f*. Ces chiffres ne comprennent ni intérêt ni amortissement.

L'usine électrique comprend 4 groupes de 350 *ch*.

L'auteur évalue le prix de revient du kilowattheure à sept dixièmes de centimes (0,007 *f*) non compris intérêt et amortissement — dont environ moitié pour graissage et petit entretien, un quart pour main-d'œuvre et un quart pour la vapeur.

L'auteur décrit les nombreuses applications faites dans ce service de mines : moteurs, treuils, défourneurs à coke, pompes souterraines, et donne des chiffres de rendements.

Des perforatrices électriques vont être installées, ainsi qu'une traction électrique de 1 800 *m* en galerie, par accumulateurs.

Ouvrage intéressant à consulter en raison du grand nombre de plans qu'il contient.

Marcel Delmas.

Le Gérant, Secrétaire Administratif,
A. de Dax.

Imprimerie Chaix, rue Bergère, 20 Paris. — 17446-9-01. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

D'OCTOBRE 1901

N° 10.

OUVRAGES REÇUS

Pendant les mois d'Août, Septembre et Octobre 1901, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

BARBET (É.). — *Nouveaux progrès de la Rectification continue. Rectification des flegmes et rectification directe des vins en moûts fermentés*, par Émile Barbet (in-8°, 245 × 155 de 120 p., avec 41 fig.). Paris, Constructions de distilleries agricoles et industrielles, 173, rue Saint-Honoré (Don de l'auteur, M. de la S.) 41190

Carte du Colmatage des Polders de Hollande, Medemblik, 3 (une feuille 680 × 650) (Don du Ministerie van Waterstaat Handel in Nijverheid). 41277

Emplois industriels de l'Alcool. Rapport présenté au Syndicat des fabricants de sucre de France, par MM. Gentilliez et Arachequesne, à la suite de leur voyage en Allemagne, au concours de Halle-sur-Saale et à Berlin, du 14 au 22 juin 1901 (in-4°, 270 × 220, de 44 p.). Paris, Syndicat des fabricants de sucre de France, 1901 (Don de l'Association pour l'emploi industriel de l'alcool). 41200

WEBER (F.). — *Essai historique sur la Brasserie Française*, par France Weber (in-8°, 225 × 140, de 534 p.). Soissons, Imprimerie-Librairie J. Prudhomme, 1900 (Don de M. A.-T. Kreiss, M. de la S.). 41199

Chemins de fer et Tramways.

ABT (R.). — *Der Eisenbahnbau. Lokomotiv- Steilbahnen.* Bearbeitet von Roman Abt (Abdruck aus dem Handbuch der Ingenieurwissenschaften, v Band, 8 Abteilung, xiv Kapitel) (in-8°, 260 × 175, de 87 p., avec 71 fig.). Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann (Don de l'auteur, M. de la S.). 40197

Annuaire des Chemins de fer et des Tramways. Rédigé d'après les documents officiels, par E. Marchal. 16e année, 1901 (in-8°, 255 × 165, de 902 p.). Paris, E. Marchal, 1901. 41269

BANGE (LE COLONEL DE). — *Les Déraillements sur les chemins de fer*, par le Colonel de Bange (in-8°, 205 × 135, de 12 p.). Versailles, Société anonyme des Imprimeries Gérardin, 1901 (Don de l'auteur). 41246

Convention internationale sur le Transport des marchandises par chemins de fer. (Texte en vigueur à dater du 10 octobre 1901.) Publié par l'Office central, à Berne, en exécution d'une décision de la conférence de revision de Paris (in-4°, 265 × 210, de 102 p.). Ouvrage en français et en allemand. Berne, Office central, 1901. 41191

DUMAS (A.). — *Le Chemin de fer Métropolitain de Paris. Description du réseau projeté. Lignes actuellement exécutées. Usine de Bercy. Exploitation des lignes en service. Lignes actuellement en construction*, par A. Dumas (in-8°, 240 × 160, de 183 p., avec 105 fig. et 7 pl.). Paris, le Génie Civil; Ch. Béranger, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41287

DUMONT (A.). — *L'Auto-démarreur Edeline et ses composés*, par A. Dumont (in-12, 170 × 110, de 17 p.). Paris, le Courrier littéraire de la Presse, 1901. 41247

Report of the Proceedings of the Thirty-third Annual Convention of the American Railway Master Mechanics' Association held at Saratoga, N. Y. June, 21, 22, and 23, 1900 (in-8°, 225 × 150, de 400 p.). Chicago, The Henry O. Shepard Company, 1900. 41205

Report of the Proceedings of the Thirty-fourth Annual Convention of the Master Car Builders' Association held at Saratoga, N. Y. June 18, 19 and 20, 1900 (in-8°, 225 × 150, de 423 p.). Chicago, The Henry O. Shepard Company, 1900. 41206

Schweizerische Bergbahnen (in-4°, 350 × 260, de xi-178 p., avec 239 illustrations). Zurich, Polygraphisches Institut, A. G. Juin 1901 (Don de M. H. Paur, M. de la S.). 41262

Statistique des Chemins de fer Français au 31 décembre 1899. Documents divers. Première partie. Interêt général. France, Algérie et Tunisie. (Ministère des Travaux publics. Direction des chemins de fer) (in-4°, 310 × 240, de vi-412 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41224

The Universal Directory of Railways officials, 1901. Compiled from official Sources under the Direction of S. Richardson Blundstone (in-8°, 220 × 140, de 623 p.). London, The Directory Publishing Company Limited, 1901. 41142

Tramways électriques Westinghouse. Société industrielle d'Électricité. Procédés Westinghouse (album 150 × 230, de 42 p.). 41178

Union internationale permanente des Tramways. Circulaire et Note sur l'unification des concessions des tramways de l'agglomération Bruxelloise, par L. Jansseu (2 feuilles, 335 × 210). 41194

Chimie.

Halphen (G.). — *Analyse des Matières grasses*, par G. Halphen (Encyclopédie scientifique des aide-mémoire) (in-8°, 190 × 120, de 176 p.). Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie (Don de l'éditeur). 41283

Marion (F.) et Manget. — *Tableaux synoptiques de l'Analyse des Farines*, par F. Marion et le docteur Manget (in-16, 185 × 135, de 72 p., avec 16 fig.). Paris, J.-B. Baillière et fils, 1901 (Don de M. F. Marion, M. de la S.). 41253

Villon (A.-M.) et Guichard (P.). — *Dictionnaire de Chimie industrielle, contenant les applications de la chimie à l'industrie, à la métallurgie, à l'agriculture, à la pharmacie, à la pyrotechnie et aux arts et métiers*, par MM. A.-M. Villon et P. Guichard. Tome III. Fascicules 28, 29 et 30. Cahiers 26 à 40, in-8°, 290 × 205. Paris, Bernard Tignol (Don de l'éditeur). 41258, 41259 et 41290

Construction des Machines.

Association des Propriétaires d'Appareils à vapeur du Nord de la France. Exercice 1900-1901. XVIIIe Bulletin (in-8°, 255 × 165, de 192 p., avec 1 pl.). Lille, L. Danel, 1901. 41229

Association Lyonnaise des Propriétaires d'Appareils à vapeur. Exercice 1900. 25e année (in-8°, 235 × 155, de 70 p.). Lyon, A. Storck et Cie, 1901. 41187

Association Parisienne des Propriétaires d'Appareils à vapeur. Bulletin annuel. 26e exercice, 1900 (in-8°, 240 × 155, de 160 p., avec 1 pl.). Paris, Siège de l'Association, 1901. 41230

Belluzzo (G.). — *Alcune considerazioni sugli elementi cinematici e geometrici delle Turbine assiali.* Nota del Ing. Giuseppe Belluzzo (Estratto dal Periodico. Il Politecnico. Anno 1900) (in-8°, 250 × 170, de 18 p.). Milano, Tipografia e Litografia degli Ingegneri, 1900 (Don de l'auteur). 41210

Belluzzo (G.). — *Il calcolo pratico delle Turbine a vapore*, per l'Ing. Giuseppe Belluzzo. (Estratto dal Periodico. Il Politecnico. Anno 1901) (in-8°, 240 × 170, de 15 p.) (Don de l'auteur). 41211

Belluzzo (G.). — *L'Impianto idro-elettrico di Lanzo e le Turbine limite.* per l'Ing. Giuseppe Belluzzo. (Estratto dal Periodico. Il Politecnico. Anno 1900) (in-8°, 245 × 170, de 13 p., avec 5 pl.) (Don de l'auteur). 41212

Belluzzo (G.). — *La Parzializzazione delle Turbine a reazione radiali, centripete e miste*, per l'Ing. Giuseppe Belluzzo. (Estratto dal Periodico. Il Politecnico. Anno 1900) (in-8°, 245 × 170, de 20 p., avec 2 pl.). Milano, Tipografia e Litografia degli Ingegneri, 1900 (Don de l'auteur). 41213

Belluzzo (G.). — *Le Turbine idrauliche*, per l'Ing. Giuseppe Belluzzo (in-8°, 235 × 170, de 179 p., avec 178 fig.). Milano, Tipografia e Litografia degli Ingegneri, 1901 (Don de l'auteur). 41201

Belluzzo (G.). — *Nuovo Otturatore per Turbine a reazione radiali, centripete e miste*, per l'Ing. Giuseppe Belluzzo (Estratto dal Periodico. Il Politecnico. Anno 1900) (in-8°, 245 × 170, de 3 p.) (Don de l'auteur). 41213

Deschamps (J.). — *Les grands Moteurs à gaz et l'Utilisation des gaz de haut fourneau. Théorie des Moteurs à gaz*, par M. Jules Deschamps (in-4°, 315 × 225, de 110 p., avec 76 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41223

Gouilly (Al.). — *Éléments et Organes des Machines*, par Alexandre Gouilly. (Encyclopédie industrielle, fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165, de 407 p., avec nombreuses figures). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41185

Hann (J.). and Gener (P. and J.). — *The Steam Engine for practical Men*, by James Hann and Placido and Justo Gener (in-8°, 230 × 145, de XII-240 p., avec 4 pl.). London, Printed for Authors, 1854 (Don de M. A. Mallet, M. de la S.). 41282

Huin (G.). Maire (E.), Walther-Meunier (H.). — *Guide pratique pour les Calculs de résistance de Chaudières à vapeur et l'Essai des matériaux employés*, publié par l'Union internationale des Associations de surveillance des Appareils à vapeur. Traduit sur la 7e édition allemande, par G. Huin, E. Maire, avec la collaboration de H. Walther-Meunier. (Actualités scientifiques) (in-12, 200 × 130, de VI-67 p., avec 10 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1901 (Don de l'éditeur). 41251

La Valette (Cte de) et Périssé (L.). — *Le Carnet du Chauffeur. Guide Aide-mémoire de l'Automobiliste*, par le Comte de La Valette et Lucien Périssé. *5e année, 1901* (in-16, 160 × 115, de 382 p.). Paris, J. Rueff, 1901 (Don de M. L. Périssé, M. de la S.). 41254

Marchis (L.). — *Leçons sur les Moteurs à gaz et à pétrole*, faites à la Faculté des Sciences de Bordeaux, par L. Marchis. (Actualités scientifiques) (in-16, 185 × 120, de L-175 p., avec 19 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1901 (Don de l'éditeur). 41252

NOLET (P.). — *Quelques mots sur la Surchauffe et le Surchauffeur Schwoerer. Résultats pratiques*, par P. Nolet (in-8°, 210 × 135, de 24 p.). Bruxelles, Fred. Tilbury (Don de M. E. Schwoerer, M. de la S.). 41193

SCHMIDT (E.-M.). — *Hygiène et sécurité des Chaufferies et des Salles de machines*. Lectures faites à la Société industrielle d'Amiens le 31 janvier et le 28 avril 1901, par E.-M. Schmidt. (Extrait du Bulletin de mars-avril de la Société industrielle d'Amiens) (Association des Propriétaires d'Appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise) (in-8°, 275×175, de 46 p.). Amiens, T. Jeunet, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41240

Éclairage.

BOUVIER (Ad.). — *Carburation du gaz à froid et Carburation de l'air*, par M. Ad. Bouvier. (Extrait du compte rendu du vingt-huitième Congrès de la Société technique de l'Industrie du gaz en France, tenu à Dieppe, les 18 et 19 juillet 1901) (in-8°, 245 × 160, de 29 p., avec 4 pl.). Paris, P. Mouillot, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41285

Guide-Annuaire général des Industries : Gaz, Eaux, Électricité, édité par le Journal Revue Gaz et Électricité. Directeur Émile Fleury. Septième année, 1901 (in-8°, 220 × 135, de 594 p.). Paris, Imprimerie des Arts et Manufactures, 1901. 41264

Économie politique et sociale.

Annuaire des Syndicats professionnels, industriels, commerciaux et agricoles, constitués conformément à la loi du 21 mars 1884, en France et aux Colonies. 12e année, 1901. (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Direction du Travail) (in-8°, 210 × 130, de LVIII-624 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41215

Annuaire statistique. Vingtième volume, 1900. (République Française. Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Office du Travail. Statistique générale de la France) (in-8°, 275 × 180, de XXXVII-583 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41227

Bulletin de l'Association Normande pour prévenir les Accidents du travail, 1901. N° 22 (in-8°, 280 × 185, de 87 p., avec 2 pl.). Rouen, au siège de la Société, 1901. 41228

CHALLAMEL (J.). — *Compte rendu et Documents du Congrès international des Habitations à bon marché, tenu à Paris les 18, 19, 20 et 21 juin 1900*, publiés sous la direction de M. J. Challamel (in-8°, 255 × 165, de 425 p.). Paris, Secrétariat de la Société Française des Habitations à bon marché (Don de la Société Française des Habitations à bon marché). 41286

COLSON (C.). — *Cours d'Économie politique, professé à l'École nationale des Ponts et Chaussées*, par C. Colson. (Encyclopédie des travaux publics, fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165, de 596 p.). Paris, Gauthier-Villars; Guillaumin et C[ie], 1901 (Don de M. Lechalas). 41276

DEPORT (G.). — *Vade-mecum financier de l'Assureur et de l'Assuré contre les Accidents du travail (d'après les tarifs officiels)*, par G. Deport (in-8°, 255 × 165, de 150 p.). Paris, Maulde, Doumenc et C[ie], 1901 (Don de l'éditeur). 41265

Résultats statistiques du Recensement des industries et professions (Dénombrement général de la population du 29 mars 1896). Tome IV. Résultats généraux. (République Française. Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Office du Travail. Service du Recensement professionnel) (in-4°, 270 × 215, de CXXVIII-440 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41260

Société de Secours des Amis des sciences. Compte rendu des quarante et quarante-unième exercices. Séances publiques annuelles tenues le 14 juin 1900 et le 29 juin 1901 (in-8°, 215 × 135, de 282 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1901. 41279

Électricité.

Association des Propriétaires d'Appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise. Service de contrôle des Installations électriques. Règlement et Tarifs (in-8°, 260 × 175, de 8 p.). Amiens, T. Jeunet, 1901 (Don de M. E. Schmidt, M. de la S.). 41241

Index to the Journal of the Institution of Electrical Engineers. Vols. 21 to 30, 1892-1901 (in-8°, 215 × 135, de 138 p.). London, E. and F. N. Spon, 1901. 41203

L'Électricité à l'Exposition de 1900, 9e Fascicule, septième livraison dans l'ordre d'apparition. Téléphonie et Télégraphie, 2e section : Télégraphie, par L. Montillot (in-4°, 320 × 225, pages 137 à 246). Paris, V[ve] Ch. Dunod, juillet 1901 (Don de l'éditeur). 41139

L'Electricité à l'Exposition de 1900. 5e Fascicule, huitième livraison dans l'ordre d'apparition. Canalisation et appareillage, par M. E. Hospitalier (in-4°, 320 × 225, de 67 p., avec 111 fig.). Paris, V[ve] Ch. Dunod, septembre 1901 (Don de l'éditeur). 41261

LOUBAT (J.). — *Agenda Aide-mémoire de l'Électricien, 1901-1902, de J. Loubat et C[ie]*. Paris, J. Loubat et C[ie], 1901 (Don de l'éditeur, M. de la S.). 41133

PELLAT (H.). — *Cours d'Électricité*, par H. Pellat. *Tome I. Électrostatique. Lois d'Ohm. Thermo-Électricité* (Cours de la Faculté des Sciences de Paris) (in-8°, 250 × 165, de 329 p., avec 145 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1901 (Don de l'éditeur). 41250

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Vol. XVII. January to December 1900 (in-8°, 245 × 155, de VIII-822 p.). New-York City, Published by the American Institute of Electrical Engineers, 1901. 41192

Filature et Tissage.

Musée rétrospectif des classes 76 et 77. Matériel et procédés de la filature, de la corderie et de la fabrication des tissus à l'Exposition universelle internationale de 1900 à Paris. Rapport du Comité d'installation, par M. Éd. Simon (in-8°, 280 × 190, de 20 p.). Saint-Cloud, Imprimerie Belin frères (Don de M. Éd. Simon, M. de la S.). 41270

Géologie et Sciences naturelles diverses.

Bulletin de la Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie (Bruxelles). Tome XI, année 1897 à Tome XV, année 1901. Onzième année à quinzième année (5 vol. in-8°, 255 × 170). Bruxelles, Hayez, 1897-1901. 41217 à 41221

Molengraaf (Dr G. A. F.). — *Géologie de la République Sud-Africaine du Transvaal*, par le Dr G. A. F. Molengraaf (Extrait du Bulletin de la Société géologique de France, 4e série. Tome I, page 13, année 1901) (in-8°, 255 × 165, de 79 p., avec 19 fig., 1 pl. et 1 carte). Paris, au siège de la Société géologique de France, 1901 (Don du Conseil de la Société géologique de France). 41243

Schrader (F. C.) and Brooks (A. F.). — *Preliminary Report on the Cape Nome gold region Alaska*, by Frank C. Schrader and Alfred H. Brooks (Department of the Interior. United States Geological Survey, Charles D. Walcott, Director) (in-8° 230 × 145, de 56 p., avec 19 illustrations). Washington, Government Printing Office, 1900. 41178

Twentieth Annual Report of the United States Geological Survey, to the Secretary of the Interior *1898-1899*. Charles D. Walcott, Director. In seven Parts. *Parts II, III, IV, V and Maps and VII* (5 vol. 395 × 290). Washington, Government Printing Office, 1900. 41173 à 41177

Législation.

XXXII. Adressverzeichnis der Mitglieder der Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidg. polytechnischen Schule in Zürich. Herausgegeben im Auftrage des Vorstandes im Juli 1901 (in-8°, 220 × 155, de 50 p.) et *Anhang zum XXXII Adressverzeichnis Juli 1901* (in 8°, 220 × 155, de 48 p.). Zürich, Emil Cottis, 1901. 41273 et 41274

Carlioz (J.) — *Étude sur les Associations industrielles et commerciales*, par J. Carlioz (in-8°, 240 × 155, de 116 p.). Paris, Guillaumin et Cie, 1900 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41244

Directory of the Engineers' Club of Philadelphia containing Officers, Committees, Members, Names and Addresses, Charter, by Laws, etc., etc. Corrected to June 29, 1901 (in-32, 115 × 75, de 102 p.). Philadelphia, Franklin Book Company. 41255

MARTIN (L.). — *Droit commercial et Législation industrielle,* par Louis Martin (Bibliothèque du Conducteur de Travaux publics) (in-16, 185 × 125, de VIII-671 p.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1901 (Don de l'éditeur). 41256

Rules and List of the Members of the Iron and Steel Institute (in-8°, 215 × 135, de CXII p.). London, Published at the Offices of the Institute, 1901. 41189

The Institution of Electrical Engineers. List of Officers and Members. Corrected to June 30th, 1901 (in-8°, 215 × 135, de 155 p.). 41204

XXXI Verzeichnis der Mitglieder der Oesterreichischen Ingenieur-und Architekten-Vereines (in-8°, 230 × 155, de XVI-91 p.). Wien, R. Spies und C°, 1901. 41138

Médecine. — Hygiène. — Sauvetage.

Poisons industriels. — (République Française. Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Office du Travail.) (in-8° 235 × 155, de X-449 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41245

Métallurgie et Mines.

Annales des Mines de Belgique. Tomes I à V. Années 1896 à 1900 (5 vol. in-8°, 255 × 165). Bruxelles, Polleunis et Ceuterick, 1896-1900. 41180 à 41184

COLOMER (F.). — *Recherches minières. Guide pratique de prospection et de reconnaissance des gisements à l'usage des Ingénieurs et des Propriétaires de mines, suivi de Notions abrégées sur l'emploi dans l'industrie des minéraux les plus usuels,* par Félix Colomer (in-8°, 225 × 140, de VIII-271 p., avec 116 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1901 (Don de l'éditeur). 41249

GOUVY (A.). — *Die Grundlagen zur Roheisenerzeugung im südlichen Ural,* von Alexander Gouvy (Sonder Abdruck aus Stahl und Eisen 1901, Nr. 13) (in-8°, 280 × 190, de 8 p.). Düsseldorf, August Bagel, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41196

OBALSKI (J.). — *Mica dans la province de Québec (Canada),* par J. Obalski. Juin 1901 (Département de la Colonisation et des Mines) (in-8°, 250 × 165, de 65 p.) (Don de l'auteur). 41209

PÉRÈS (Ch.). — *Les Installations électriques des Mines de Carmaux,* par Ch. Pérès (Communication faite au Congrès international des Mines et de la Métallurgie dans la séance du 21 juin 1900) (in-4°, 280 × 225, de 29 p., avec 17 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1900 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41141

Recueils statistiques sur les Métaux suivants : Plomb, Cuivre, Zinc, Étain, Argent, Nickel, Aluminium et Mercure, établis par la Metallgesellschaft et la Metallurgische Gesellschaft A.-G. *8e année 1891-1900* (in-4°, 270 × 210, de 76 p.). Francfort-sur-Mein, C. Adelmann, juillet 1901. 41225

SELLERIER (C.). — *Data referring to Mexican Mining prepared in view of the participation of Mexico in the Universal Exposition of Paris in 1900*, by Carlos Sellerier (in-4°, 330 × 225, de 140 p.). Mexico. F. P. Hoeck and Company, 1901 (Don de l'auteur). 41140

Transactions of the American Institute of Mining Engineers. Vol. XXX. February 1900, to September 1900, inclusive (in-8°, 250 × 155, de LVIII-1157 p.). New-York City, Published by the Institute, 1901. 41236

Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Tenth session 1900-1901. Vol. IX (in-8°, 215 × 140, de VII-459 p., avec 30 pl.). London, E. and. F. N. Spon. 41257

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Atti della Commissione nominata dal Ministro dei Lavori pubblici per riferire sui danni ai muraglioni del Tevere e propone i necessari provvedimenti (Decreto 15 dicembre 1900) (in-4°, 330 × 230, de 263 p., avec 7 pl.). Roma, Tip. lit. del Genio civile, 1901. 41202

BERTIN (L.-E.). — *Travaux de M. L.-E. Bertin, Directeur des Constructions navales. Années 1870 à 1898* (27 brochures de différents formats et 2 atlas) (Don de M. L.-E. Bertin, M. de la S.). 41143 à 41171

Bulletin de l'Association technique maritime. N° 11. Session de 1900. Congrès d'Architecture et de Construction navales (in-8°, 270 × 175, de CXII-423 p., avec 31 pl.). Paris, Gauthier-Villars, 1900. 41267

Bulletin de l'Association technique maritime. N° 12. Session de 1901 (in-8°, 265 × 175, de 170 p., avec 5 pl.). Paris, Gauthier-Villars, 1901. 41234

MARCHAND-BEY. — *Étude sur la Propulsion hydraulique. Théorie et pratique*, par M. Marchand-Bey (Extrait de la Revue de Mécanique, d'août 1901) (in-4°, 320 × 225, de 19 p). Paris, Vve Ch. Dunod, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41266

PASTAKOFF (W.). — *Profils-types des Travaux maritimes de la Russie*, par W. Pastakoff (atlas, 470 × 340, de 7 pl.). Saint-Pétersbourg. Société d'Impression artistique, 1901) (Don de l'auteur, M. de la S.). 41195

Ponts et Chaussées. Service hydrométrique du bassin de l'Adour. Observations sur les cours d'eau et la pluie centralisées pendant l'année 1899 et Résumé des Observations centralisées (atlas, 440 × 280, de 4 feuilles et in-8°, 270 × 180, de 16 p., avec 7 tabl.). Pau, Garet, 1901. 41207 et 41208

TCHARNOMSKII (V.-I.). — *Opyte Opredièleniia dièistviia vyzyvaemagho volnenieme, donnagho morskogho tetcheniia na portovyia sooroujeniia. po sposovou Injénéra A. Cornaglia*, Sostavile V. I. Tcharnomskii (in-8°, 270 × 175, de 143 p., avec 7 pl.). Saint-Pétersbourg, 1901 (Don de l'auteur). 41239

Transactions of the Institution of Naval Engineers. Vol. XLIII, 1901 (in-4°, 285 × 205, de XLIV-367 p., avec 63 pl.). London, Henry Sotheran. 41288

Physique.

Consumption of French and Foreign Coal in 1899. Issued by the American Coal and Shipping Agency (une feuille, 390 × 520). 41226

Sciences mathématiques.

Beghin (A.). — *Règle à calculs. Modèle spécial.* Seconde édition entièrement revue et très augmentée (in-8°, 255 × 165, de 108 p.). Paris, Ch. Béranger, 1902 (Don de l'auteur). 41242

Caveglia (C.). — *Appendice II alla Teoria delle travi e dei lastroni di cemento armato caricati do pesi,* per Crescentino Caveglia (in-8°, 225 × 160, de 15 p.). Roma, Enrico Voghera, 1901 (Don de la Rivista d'Artiglieria e Genio). 41132

Congrès international de Mécanique appliquée tenu à Paris du 19 au 25 juillet 1900 au Conservatoire national des Arts et Métiers. Résumé des travaux (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes. Exposition universelle internationale de 1900. Direction générale de l'Exploitation) (in-8°, 265 × 175, de 27 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1901 (Don de M. G. Richard, M. de la S.). 41284

Congrès international de Mécanique appliquée tenu au Conservatoire national des Arts et Métiers du 19 au 25 juillet 1900. Tome II. Séances du Congrès (Procès-verbaux). Tome III. Séances du Congrès (Communications et Conférences) (Exposition universelle de 1900). (2 vol. in-4°, 315 × 225, de XXIV-94 p. et de 203 p.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1901 (Don de l'éditeur). 41271 et 41272

Scarpini (G.). — *Tavole numeriche di Topografia (Quadranti centesimali),* per Giuseppe Scarpini (in-8°, 230 × 145, de 155 p.). Torino-Roma, Roux et Viarengo, 1901 (Don de l'auteur). 41268

Sciences morales. — Divers.

Mémoires de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Clermont-Ferrand. Deuxième série. Fascicule quatorzième et Fascicule quinzième (2 vol. in-8°, 250 × 165, de 544 p. et de 256 p.). Clermont-Ferrand, Louis Bellet, 1899 et 1900. 41232 et 41233

Technologie générale.

American Society of Civil Engineers. Index to Transactions. Vol. I to XLV. 1867 to 1901 (in-8°, 230 × 150, de 244 p.), New-York, Published by the Society, 1901. 41237

Anales de Construcciones civiles, Minas e Industrias del Peru, publicados por la Escuela de Ingenieros de Lima. Tomo I. Segunda serie (in-8°, 235 × 160). Lima, Julio Mesinas, 1901. 41275

Atti della R. Accademia dei Lincei. Rendiconti delle sedute solenni della R. Accademia dei Lincei. Vol. I (1892-1901) (in-4°, 295 × 220, de 616 p.). Roma, Tip. della R. Accademia dei Lincei, 1901. 41135

Description des machines et procédés pour lesquels des Brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie. *Publication in extenso, 1899, 5e partie, 287 982 à 289 005* (in-8°, 245 × 160). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41137

Description des machines et procédés pour lesquels des Brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie. *Publication in extenso, 1899. 6e partie, 289 006 à 290 336* (in-8°, 245 × 160). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41216

Description des machines et procédés pour lesquels des Brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie. *Publication in extenso, 1899. 7e partie, 290 337 à 291 278* (in-8°, 245 × 160). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41235

La Grande Encyclopédie. Inventaire raisonné des Sciences, des Lettres et des Arts, par une Société de savants et de gens de lettres. *Tome trentième. Sigillateur-Thermopole* (in-8°, 310 × 210, de 1 216 p.). Paris, Société anonyme de la Grande Encyclopédie. 41289

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers; with other selected and abstracted Papers. Vol. CXLIV, 1900-1901. Part II. London, Published by the Institution, 1901. 41186

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers, with other selected and abstracted Papers. Vol. CXLV, 1900-1901. Part III (in-8°, 215 × 140, de VII-496 p., avec 7 pl.). London, Published by the Institution, 1901. 41238

Répertoire bibliographique des principales Revues Françaises pour l'année 1899, rédigé par D. Jordell. 3e année (in-8°, 265 × 175, de XIII-359 p.). Paris, Per Lamm, 1901. 41263

Shanghai Society of Engineers and Architects. A Paper read before the Society 2nd April 1901; 16th April 1901; 30th April 1901 (3 brochures in-8°, 215 × 135). Shanghai, North China Herald Office (Don de M. J. Chollot, M. de la S.). 41248

Société industrielle de Mulhouse. Programme des Prix proposés en Assemblée générale le 29 mai 1901, à décerner en 1902 (in-8°, 250 × 165, de 58 p.). Mulhouse, Vve Bader et Cie, 1901. 41231

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne. Bulletin N° 46, 1900 (in-8°, 250 × 165, de 152 p.). Saint-Quentin, Ch. Poette, 1901. 41134

The John Crerar Library. Sixth Annual Report for the year 1900 (in-8°, 255 × 170, de 40 p.). Chicago, Printed by order of the Board of Directors, 1901. 41198

The Journal of the Iron and Steel Institute. Vol. LIX. N° 1, 1901 (in-8°, 220 × 140, de XII-619 p.). London, E. and F. N. Spon, 1901. 41188

Transactions of the American Society of Civil Engineers. Vol. XLV. June 1901. New York, Published by the Society, 1901. 41172

Transactions of the North-East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders. Vol. XVII. Seventeenth session 1900-1901 (in-8°, 245 × 150, de 265 p., avec 23 pl.). London and Newcastle-upon Tyne, Andrew Reid and Company, 1901. 41281

Travaux Publics.

Annuaire du Ministère des Travaux publics pour l'année 1901 (in-8°, 230 × 140, de 862 p.). Paris, E. Bernard et Cie, 1901. 41280

Comité de conservation des Monuments de l'art arabe. Exercice 1899. Fascicule seizième. Procès-verbaux des séances. Rapports de la section technique (in-8°, 235 × 160, de 159 p., avec 9 pl.). Le Caire, Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie orientale, 1899. 41136

HENNEBIQUE. — *Relevés des Travaux exécutés en système Hennebique pendant l'année 1900* (in-4°, 270 × 215, de 87 p.). Paris, 1, rue Danton (Don de M. Hennebique, M. de la S.). 41278

NOÉ (L.). — *Architecture et Sculpture. Exposition universelle de 1900.* Documents sur les styles du IXe au XIXe siècle. 100 planches par année, avec table analytique publiées et dessinées par L. Noé. Sixième année (album, 365 × 285, de 100 pl.). Paris, Aulanier et Cie. 41222

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis, pendant le mois d'octobre 1901, sont :

Comme Membres Sociétaires, MM.

M.-J. Barasch,	présenté par MM.	Pontzen, Rouget, Lemercier.
G.-A. Bullier,	—	C. Gautier, P. Gautier, Neveu.
G.-C. Catala,	—	Commelin, Lacauchie, Viau.
J.-E. Catala.	—	Commelin, Lacauchie, Viau.
C.-M. Clermidy,	—	F. Bonnefond, Malo, Le Page.
Ch.-L. Demonchy,	—	Buquet, Hegelbacher, Imber,
E. L. Gilbert,	—	Compère, Jannettaz, Danois.
L. Gouverner,	—	Burot, Robert, Forgue.
J.-J.-B.-M.-P. Joly,	—	Mesureur, Casalonga, E. Fouché.
E. Loeschnigg,	—	Buquet, Hegelbacher, Couriot.
J. Rütgers,	—	Mesureur, H. Besson, Huguet.

Comme Membres associés, MM.

Ch.-N. Boyn,	présenté par MM.	Duchesne, Savin, de Dax.
G.-P.-Ch.-J. Jeanne-Julien,	—	Gallais, Buisson, Vuillaume.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'OCTOBRE 1901

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 4 OCTOBRE 1901

PRÉSIDENCE DE M. CH. BAUDRY, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Au sujet du procès-verbal de la séance du 19 juillet, M. le Président dit qu'il a reçu de MM. Pourcel et Brustlein, deux lettres relatives à la communication de M. Charpy sur les essais des métaux à la flexion, par choc de barreaux entaillés.

Ces lettres sont ainsi conçues :

« *Bonneuil-en-Valois, par Vaumoise (Oise), 17 juillet 1901.*

» MONSIEUR ET CHER PRÉSIDENT,

» J'ai reçu en communication et lu avec toute l'attention que com-
» porte le sujet qu'elle traite, la note savante et toute pleine de faits,
» aussi bien observés que décrits, sur *l'Essai des métaux à la flexion par*
» *choc*, présentée par mon ami, M. G. Charpy, à la Société des Ingé-
» nieurs Civils de France.

» Ne pouvant assister à la séance prochaine du 19 juillet où elle doit
» être soumise à la discussion, je me permets, Monsieur le Président,
» de vous adresser ici les quelques critiques, ou plutôt, les bien légères
» observations que sa lecture m'a suggérées.

» D'abord une rectification de dates pour établir que l'idée de me-
» surer le travail résiduel, après rupture de l'éprouvette à l'essai de
» choc, appartient à M. Fremont.

» Notre sympathique Collègue l'a en effet exposée dans une commu-
» nication à l'Académie des Sciences à la date du 4 octobre 1897. De
» plus, M. Ch. Fremont a inséré cette communication dans un travail
» sur la chaudronnerie, publié dans le Bulletin de notre Société des
» Ingénieurs Civils de France, en novembre 1897.

» D'autre part, la note de M. Russell relative à son petit pendule d'une » hauteur de chute de 0,25, où il est fait mention de la mesure du travail résiduel, a paru au Bulletin de décembre 1897 de la Société des » Ingénieurs Civils américains. Elle n'a été reçue, en France, qu'en » février 1898.

» Je crois ainsi bien établie — du moins en France — la priorité de » M. Fremont dans la mise au jour d'une idée primordiale dans l'essai » pratique de barreaux au choc.

» Mes observations techniques se résument en quelques mots :

1° Le choix d'éprouvettes de 30×30 *mm* de section et, éventuellement, de 20×20 *mm*, que fait M. Charpy, ne me semble pas répondre aux nécessités de la pratique courante autant que celui d'éprouvettes ayant les dimensions adoptées par notre Collègue, M. Fremont : 10×8 *mm*. Les tôles pour chaudières, ponts ou navires, les » larges plats, les cornières, les profilés comportent des épaisseurs variant entre 10 et 15 *mm* et rarement au delà. La manière qu'indique » M. Charpy, de tourner la difficulté en essayant l'éprouvette placée » sur champ, ne me parait pas être d'un degré d'exactitude bien rigoureux. C'est là tout au plus un expédient.

» La longueur d'éprouvette que ne fixe pas M. Charpy, doit être sans » doute — *vu l'écartement des appuis de 12 cm* — de 25 *cm* environ » ou plus.

» Comment alors s'y prendre pour faire l'essai dans le sens du travers de la plupart des cornières et des profilés ?

2° Je ne rééditerai pas ici, à nouveau, les critiques que j'ai présentées à nos séances du Comité d'études de la Commission des essais, » chaque fois qu'on y a discuté la question des essais de choc par coups » répétés.

» Que de fois n'a-t-on pas constaté qu'une éprouvette ayant résisté » au premier choc d'un mouton tombant de 3 *m* de hauteur, casse net » au choc suivant du même mouton tombant de 2 *m* ?

» Aussi, achever à la presse ou au pilon un barreau d'essai ayant » subi sous le choc une flexion de 60° sans rompre (p. 11) ne me » parait répondre que très approximativement aux conditions d'un essai » de choc.

» Le choix de grandes éprouvettes atténue les effets des défauts du » métal dans une mesure sensible. C'est, du reste, l'opinion de M. Charpy » exprimée (p. 10 et 11) : « *Il faut plus de précision dans l'ajustage des » barreaux et dans la façon de les éprouver lorsqu'on les a de plus petites » dimensions.* »

» Cependant les très nombreux essais faits sur des barreaux de section faible : 10×8 *mm*, avec le mouton de M. Fremont, n'ont jamais » donné, que je sache, un écart atteignant 10 0/0.

» Veuillez agréer, etc.

» Alexandre Pourcel. »

M. le Président rappelle que les dates fournies par M. Pourcel avaient été communiquées à M. Charpy avant la séance du 19 juillet et ont été données par lui en séance.

» *Aciéries d'Unieux (Loire), le 23 août 1901.*

» Monsieur le Président,

» C'est avec un intérêt d'autant plus vif que j'ai pris connaissance, » dans le Bulletin de notre Société de juin 1901, de l'heureuse solution » proposée par M. G. Charpy pour les essais sur barreaux d'acier en- » taillés, que cette question m'avait préoccupé il y a déjà une ving- » taine d'années.

» Frappé de la facilité avec laquelle se cassaient souvent les barreaux » d'acier entaillés, j'avais appelé l'attention sur ce point dans un mé- » moire que j'eus l'honneur de remettre en 1877 au colonel de Lahitolle, » alors Directeur de la fonderie de canons de Bourges, à l'occasion d'une » visite d'inspection à l'usine d'Unieux.

» J'avais proposé, dès cette époque, de faire des essais sur barreaux » entaillés, sans avoir trouvé toutefois de solution satisfaisante à re- » commander pour faire les entailles.

» Pour bien indiquer, dans mon travail, qu'il s'agissait là d'une pro- » priété spéciale dont les essais en usage ne tenaient pas compte, je la » désignai par le terme de *fissilité*.

» J'admettais que les aciers qui cassaient plus difficilement que les » autres, après entaille faite, devaient avoir une structure plus fibreuse » ou plus feutrée. Grâce à cette structure, la partie la plus fatiguée *(a)*, » comprise entre le fond de l'entaille et la surface inférieure du barreau. » prolongeait son allongement, au moment du choc, dans la masse du » métal, tandis que si cet allongement se localisait à ce seul point *(a)* » le choc occasionnait une prompte rupture.

» Cette façon de se comporter d'un acier tenace me semblait pré- » senter quelque analogie avec celle d'un bois très nerveux, qui bien » qu'entaillé, ne s'ouvre, quand on le courbe, que dans la partie en- » taillée, sans que la rupture se prolonge dans le sens de l'entaille.

» Cette analogie me semblait justifier, jusqu'à un certain point, l'ex- » pression de *fissilité* que j'avais employée à cette occasion.

» L'année suivante, en 1878, lors d'une nouvelle visite à notre éta- » blissement, le colonel de Lahitolle me remercia pour ma communi- » cation, en m'avouant, toutefois, qu'elle était récente pour lui, vu qu'il » venait de la retrouver depuis peu dans son pardessus où elle était » restée inaperçue.

» Ce memoire, qui contenait d'ailleurs d'autres considérations, dont » quelques-unes ont servi de point de départ à des applications impor- » tantes pour les réceptions d'artillerie, fut discuté pendant quelques » annees dans les conférences de MM. les officiers d'artillerie à Bourges, » de sorte qu'un certain nombre de jeunes officiers de cette époque peu- » vent en avoir conservé le souvenir.

» Veuillez agréer, Monsieur le Président, etc.

» H.-A. Brustlein,

« *Ingénieur-Directeur des Aciéries d'Unieux.* »

M. le Président dit qu'il a reçu de M. Lecomte une note relative au procès-verbal du 5 juillet *(moteurs à alcool*, communication de M. L. Périssé). Il est donné lecture de cette note.

« M. A. Lecomte désire attirer l'attention sur un des points traités par » M. L. Périssé dans sa conférence si documentée. M. Périssé émet » l'opinion que pour les moteurs à alcool, il faut des moteurs ayant une » forte compression et une longue course de cylindre.

» Il y a là deux faits qui ne peuvent s'accorder dans les moteurs d'au» tomobiles, pour lesquels la cylindrée a justement le volume du cy» lindre et par conséquent une pression finale d'autant plus élevée que » la compression a été plus forte; dans les moteurs Atkinson, Charon, » Letombe, la compression est dans une certaine mesure indépendante » de la course du cylindre, mais ce n'est pas le cas avec les moteurs » d'automobiles, cependant les moteurs à longues courses sont plus » avantageux pour l'alcool et cela tient à une toute autre raison que » voici :

» Dans les moteurs ce n'est pas le rapport de la course au diamètre » d'alésage qui intervient pour la force produite, mais le volume déve» loppé, ainsi on compte sur un volume de 8 à 9 *l* par seconde et par » force de cheval; par contre plus la course du cylindre est longue pour » un même volume développé, et plus le moteur tournera lentement; » or c'est la vitesse de la phase qui intervient justement pour le com» bustible alcool.

» L'alcool est un combustible qui brûle plus lentement que l'essence » minérale, on est obligé d'avancer beaucoup l'allumage, et en faisant » des essais sur un moteur Niel installé à la Société des Huiles Miné» rales de Colombes, M. Lecomte a obtenu des résultats économiques » plus favorables à 200 tours qu'à 300 tours en employant l'alcool car» buré à 50 0/0, le diagramme de l'alcool est presque le même que pour » l'essence, sauf avance à l'allumage, l'essence par contre va aussi bien » à 200 tours qu'à 300 tours. Comme l'indique M. Périssé, la consom» mation en volume est bien de 1,15 à 1,25 volumes d'alcool carburé à » 50 0/0 contre 1 volume d'essence.

» M. Lecomte croit que si le professeur Gosslicht n'a pas obtenu de » meilleurs résultats avec de l'alcool carburé à plus de 20 0/0 c'est tout » simplement parce qu'il n'a pas réglé son moteur pour une carburation » plus élevée, les essais effectués par M. Lecomte lui ont démontré que » le volume de liquide utilisé par cheval-heure est d'autant plus élevé » que la proportion du carburant est plus faible.

» On ne devrait pas utiliser d'autre alcool que l'alcool carburé et cela » à un point de vue aussi national que celui auquel on se place quand » on parle de l'alcool pur. La benzine qu'on ajoute à l'alcool est un » produit extrait de nos fours à coke français, la quantité produite aug» mente chaque année, et un seul producteur, le Comptoir des Benzols » peut en livrer 100 000 *hl* par an. L'alcool pur restant employé à l'é» clairage qui sera un des gros débouchés.

» Il est nécessaire de carburer l'alcool parce que ce dernier n'émet » pas de vapeurs inflammables au-dessous de 17 à 18°, l'addition de la » benzine ramène son point d'éclair aux environs de 0°.

» Il faut fortement chauffer le mélange d'alcool et d'air pour le rendre » homogène parce que l'alcool nécessite 300 calories par kilog pour sa » complète vaporisation contre 150 seulement pour l'essence.

» M. Périssé a dit que l'essence de pétrole est un produit complexe, » c'est vrai, mais combien plus complexe est l'alcool dénaturé dans » lequel le distillateur introduit tous ses mauvais goûts de tête et de » queue, et enfin la Régie une proportion élevée de méthylène, laquelle » proportion, d'après les expériences de M. Patrois, a pour résultat de » donner à la combustion des produits qui attaquent les soupapes des » cylindres.

» M. Lecomte ne pense pas qu'il faille considérer l'alcool comme un » gaz pauvre, un mètre cube de vapeur d'alcool pèse 2,080 *kg* et déve- » loppe 12 150 calories; on ne peut donc pas dire que c'est un gaz » pauvre, mais la forte compression qui est nécessaire pour les gaz de » hauts fourneaux est nuisible pour l'alcool et voici pourquoi :

» On peut comprimer autant qu'on le veut un gaz fixe on ne changera » pas sa composition, mais il n'en est pas de même pour un mélange » de gaz et de vapeurs; ainsi le gaz d'huile qui sert pour l'éclairage » dans les chemins de fer, abandonne à la compression de 6 *atm* une » proportion très grande de benzine, de même pour le gaz d'éclairage. » Le même fait a été signalé par M. Richard, le savant secrétaire de la » Société d'Encouragement, dans son traité des moteurs à pétrole pour » l'emploi de l'essence minérale; or, à ces compressions élevées l'alcool » condensé sur les parois du cylindre est perdu, il ne brûle pas.

» Un exemple encore c'est le moteur Diesel, dans lequel on ne com- » prime pas une cylindrée d'air et de vapeurs de pétrole, mais de l'air » pur et on injecte le pétrole à fin de course.

» En terminant, M. Lecomte appelle l'attention des constructeurs sur » le réglage et l'allumage des petits moteurs.

» Il se plaint qu'on vende des petits moteurs sur lesquels le construc- » teur n'a jamais tiré de diagrammes : il en a essayé plusieurs, de dif- » férentes marques et très souvent il a remarqué qu'après avoir tiré un » diagramme on pouvait diminuer d'un quart et même d'un tiers la » consommation.

» Les meilleurs résultats qu'il ait obtenus lui ont été fournis par l'al- » lumage électrique qui permet de régler avec précision le point d'in- » flammation.

» En résumé, l'économie ne croissant que comme le logarithme hy- » perbolique de la compression et à cause des condensations dans le » cylindre, M. Lecomte conseille de ne pas dépasser 4 *atm* pour la com- » pression, d'exiger des diagrammes quand on achète un moteur et de » soigner l'allumage duquel dépend la consommation et la force du » moteur.

M. le Président donne lecture de la liste, malheureusement trop longue, des décès qui, depuis la séance du 19 juillet se sont produits parmi nos Collègues, et il adresse à leurs familles les compliments de condoléance de la Société.

Ce sont MM. :

P.-E. Battarel, Membre de la Société depuis 1867, ancien inspecteur des travaux chimiques de la Compagnie parisienne du gaz ;

A.-F. Birlé, Membre de la Société depuis 1862, ancien Élève de l'École

Centrale (1857), ancien Directeur de la Société de touage de la Moskova;

E. Bouhey, Membre de la Société depuis 1875, constructeur mécanicien, Chevalier de la Légion d'honneur;

L.-A. Fortin-Herrmann, Membre de la Société depuis 1858, a été gérant de la Société d'entreprise générale de distribution d'eau et de gaz et de travaux publics, Chevalier de la Légion d'honneur;

Pierre-Paul Guéroult, Membre de la Société depuis 1894, ancien Élève de l'École Centrale (1863), a été attaché au bureau des Études de MM. Cail et Cie, Calla; a dirigé la chaudronnerie Fontaine à Lille, puis l'usine à oxygène de Pantin, Ingénieur civil;

E. Lafontaine, Membre de la Société depuis 1898, ancien Élève de l'École Polytechnique de Montréal, assistant Ingénieur en chef au ministère des Travaux publics du gouvernement du Canada;

A. Maroquin, Membre de la Société depuis 1879, Ingénieur civil, ancien Directeur-gérant des Établissements métallurgiques et de construction de la Société anonyme de Marcinelle et Couillet, Membre du Conseil supérieur du travail;

J.-G. Pauchon, Membre de la Société depuis 1880, ancien Élève de l'École Centrale (1872), ancien Directeur-gérant des papeteries réunies de Dieppe et Ponts-et-Marais, Directeur des papeteries de Lacourtensourt, Administrateur délégué de la Société toulousaine d'Études industrielles et de la Société toulousaine Acétylène et Carbures;

A.-A. Pernin, Membre de la Société depuis 1897, a été Ingénieur au Bureau des études des ateliers de construction des usines du Creusot; sous-directeur des anciens établissements Cail; directeur des ateliers de fonderie et d'appareils de chauffage.

Ch.-F. Pierron, Membre de la Société depuis 1893, ancien Élève de l'Ecole Centrale (1885), ancien Ingénieur principal de l'Association alsacienne pour prévenir les accidents de fabrique, Secrétaire général de la Société industrielle de Mulhouse, Ingénieur en chef des Établissements Dollfus-Mieg et Cie à Mulhouse et à Belfort;

M. L.-H.-M. de Somzée, Membre de la Société depuis 1876, ancien Élève de l'École de Liège (1862), Ingénieur honoraire des Mines, décoré de la Croix civique de 1re classe de Belgique, ancien premier secrétaire de légation, Commandeur de la Légion d'honneur.

L. Vauthier, Membre de la Société depuis 1857, Ingénieur des Ponts et Chaussées en retraite, Ancien Ingénieur en chef de la navigation de l'Èbre, Ancien Ingénieur en chef de la ligne d'Italie par le Simplon, Ancien Membre du Conseil municipal de Paris et du Conseil général de la Seine;

M. le Président a le plaisir d'annoncer à nos Collègues un assez grand nombre de décorations et distinctions qui viennent d'être accordées à des Membres de la Société :

Officier de la Légion d'honneur : M. Ch. Cotard;

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. M. Douau, H. Forest, H. Laval, G. Mestayer, E. Pantz, E. Verdeaux;

Commandeurs du Mérite agricole : MM. Ch. Gallois, A. Lambert;

Chevaliers du Mérite agricole : MM. Ch. Dessin, P.-A. Jolibois;

Officier de l'Instruction publique : M. J.-M. Lopez-Diaz ;

Officiers d'Académie : MM. P.-L. Barbier, F. Brunswick, P.-L. Novince ;

Commandeur d'Isabelle la Catholique : M. L. Savatier ;

Commandeur du Nicham-Iftikar : M. A. Bethouart ;

Officier du Cambodge : M. E.-S. Flachat ;

Chevalier de l'ordre de Léopold : M. E.-S. Flachat ;

Chevalier de la Couronne d'Italie : M. F. Delmas ;

Chevalier de l'ordre de François-Joseph d'Autriche : M. M. Cossmann.

M. F. Reymond a été nommé Président de la Commission technique des brevets d'invention et des marques de fabrique ;

MM. R. Benoit et Ed. Michaud ont été nommés Membres de la Commission technique du Laboratoire d'essai du Conservatoire national des Arts et Métiers.

Ont été nommés Membres de la Commission instituée par M. le Ministre de l'Agriculture pour l'organisation des expériences du concours des appareils utilisant l'alcool dénaturé et l'attribution des récompenses :

Première division : Appareils moteurs, MM. Ch. Baudry, Président de la Société ; A.-Ch. Bourdon, G. du Bousquet, L. de Chasseloup-Laubat, Ch. Gallois, E. Guyot-Sionnest, E. Hospitalier, A. Liébaut, A. Loreau, G. Richard ;

Deuxième division : Appareils d'éclairage et de chauffage, MM. Arachequesne, L. Baclé, A. Egrot, J. Grouvelle.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus par la Société depuis la dernière séance.

Cette liste sera insérée dans un prochain bulletin.

M. LE PRÉSIDENT annonce que deux plis ont été déposés à la Société :

1° Le 21 septembre, par M. Paul Gadot ;

2° Le 3 octobre par M. le Vte A. de Nouë.

Ces plis cachetés seront, conformément à l'usage, déposés aux archives de la Société.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu du Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, le programme du quarantième Congrès des Sociétés savantes qui s'ouvrira à la Sorbonne le 1er avril 1902. Ce programme est à la disposition des Membres de la Société au Secrétariat.

M. LE PRÉSIDENT fait observer, qu'à la suite d'un dérangement au tableau de distribution, l'éclairage électrique avait manqué au dernier moment, mais M. Denayrouze, notre Collègue, a eu l'amabilité de nous envoyer les six appareils qui assurent l'éclairage de la salle. Les projections électriques ne pourront malheureusement pas avoir lieu.

M. E. BERT ayant été victime d'un accident qui le retient momentanément éloigné de nos séances, M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. G. Dumont qui veut bien se charger de présenter sa communication sur les *Récentes modifications apportées à la législation française, en ce qui concerne les Brevets d'invention.*

M. G. DUMONT rappelle que la loi du 5 juillet 1844, qui régit actuellement les brevets d'invention, n'a jamais été modifiée, depuis sa promul-

gation, pour la mettre en harmonie avec les progrès réalisés par l'industrie depuis un demi-siècle. Et cependant elle aurait bien besoin d'être remaniée sur certains points ! C'est le but que s'est assigné l'*Association française pour la protection de la propriété industrielle* dont beaucoup de nos collègues font partie. Grâce à ses efforts, un *Office national des Brevets d'invention et des Marques de fabrique* a été créé par la loi du 9 juillet 1901 ; il est installé au Conservatoire des Arts et Métiers où il a été ouvert au public le 1er octobre.

La direction de ce service a été confiée à M. G. Breton ; il est assisté par une Commission technique présidée par notre ancien Président, M. Reymond.

Dans le but de permettre la publication intégrale et par fascicules séparés de tous les brevets, la loi du 9 juillet 1901 a décidé que désormais les descriptions et dessins des brevets d'invention devraient être exécutés dans des conditions déterminées de forme, conditions qui ont été récemment formulées par un arrêté de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie, du 3 septembre 1901. L'une des principales dispositions de cet arrêté stipule que les dessins, annexés aux demandes de brevets, devront être exécutés sur des feuilles de bristol ou de tout autre papier blanc fort et lisse, ayant la dimension de $0,33 \times 0,21$ *m* ou $0,33 \times 0,42$ *m*, avec un cadre intérieur de 0,02 *m*.

Dans le cas où la description ou les dessins ne répondraient point aux prescriptions du règlement, une disposition de l'arrêté ministériel accorde à titre transitoire et jusqu'au 1er janvier 1902 seulement, un délai de un mois pour présenter de nouvelles pièces régulières, mais il ne lui est pas permis d'apporter aucune modification à leur teneur.

M. Bert voudrait que cette mesure fût définitive et non pas transitoire.

M. le Président remercie M. Dumont et M. Bert ainsi que ceux de nos Collègues qui ont collaboré à une œuvre si utile.

M. P. Regnard dit que parmi les réformes que signale la communication de M. Bert, une des plus importantes est certainement l'organisation de l'Office National des Brevets d'invention et des Marques de fabrique au Conservatoire des Arts et Métiers.

A ce sujet, il lui paraît juste de rappeler que l'idée de choisir le Conservatoire des Arts et Métiers comme le centre des Services de la Propriété industrielle appartient à notre Collègue, M. Armengaud jeune, qui, dès 1884, l'avait soumise à l'Association des Inventeurs et Artistes Industriels. Le rapport que M. Armengaud a rédigé au nom de cette Association a été transmis le 20 mai 1884 au ministre du Commerce d'alors par M. Huard, Président de l'Association des Inventeurs et Artistes Industriels.

C'est ce même rapport que le Président actuel de ladite Association avait de nouveau adressé le 1er mai dernier à M. Millerand, ministre du Commerce, et il a été reproduit *in extenso* par M. le député Astier, rapporteur du projet de loi.

Tous les Ingénieurs qui s'occupent de brevets devant profiter de cette nouvelle organisation, il a paru opportun à M. Regnard de rappeler

que c'est un de nos Collègues qui a pris l'initiative de cette heureuse réforme, malheureusement encore incomplète, puisque les services financiers n'ont pu être installés au Conservatoire des Arts et Métiers en même temps que les Services techniques.

M. D.-A. Casalonga déplore l'indifférence générale, en France, en ce qui concerne la propriété industrielle, tandis qu'en Allemagne, où il n'y avait presque rien il y a à peine 30 ans, elle constitue une véritable science. Le syndicat des Ingénieurs-Conseils a lutté énergiquement depuis 1883 pour obtenir plus que les mesures analysées par M. Bert.

M. Casalonga indique quelques perfectionnements, pour l'obtention desquels il demande l'appui moral de la Société, notamment pour le sursis de trois mois à accorder à tout breveté pour payer la taxe échue, moyennant une surtaxe, sursis sur l'utilité et la légitimité duquel tout le monde est cependant d'accord depuis longtemps.

M. Lavoix dit qu'une Commission de la Chambre des députés est actuellement saisie de deux propositions qui compléteront heureusement les réformes déjà obtenues; l'une déposée le 8 mars 1900, par M. Prache et plusieurs de ses Collègues, a pour objet de créer l'obligation légale de la publication *in extenso* et par fascicules séparés, des brevets, dès leur délivrance; l'autre a pour objet d'accorder un délai aux inventeurs pour le paiement des annuités. La Commission vient de déposer son rapport qui est entièrement favorable aux deux propositions.

M. F. Fouché a la parole pour sa communication sur *l'installation d'un aéro condenseur de 4 500 ch.*

M. F. Fouché dit que l'aéro condenseur dont il s'agit doit être installé à Kalgoorlie dans l'Australie occidentale. Il est destiné à condenser la vapeur des machines d'une importante station centrale d'électricité de manière à utiliser l'eau pour l'alimentation des chaudières et en même temps produire au condenseur un vide aussi grand que possible.

Kalgoorlie, dont la production en or atteint actuellement 80 millions par an, est situé dans un pays où l'eau est très rare.

Cette ville possède un grand nombre de mines pourvues de machines puissantes; le plus grand nombre de ces installations fonctionne dans des conditions médiocres, les machines sont à échappement libre; le prix de l'eau a été de 25 *f* le mètre cube en 1900.

La « Kalgoorlie Electric Power and Lighting Corporation Ld » s'est proposé de fournir aux usines la force motrice à meilleur prix qu'elles ne peuvent l'obtenir par leurs propres installations.

L'installation de sa première usine comprend trois machines verticales compound, dont la dépense totale est évaluée à 22 000 *kg* environ de vapeur par heure; on estime qu'elles pourront fournir au maximum 4 500 *ch.*

L'aéro condenseur comprend 27 ventilateurs à ailes en hélices, qui refouleront par heure deux millions de mètres cubes d'air sur les surfaces de condensation.

Ces surfaces sont composées de tôles d'acier ondulées de 1 *mm* d'épaisseur assemblées deux à deux par sertissage mécanique de manière à

former des plaques creuses ondulées. Ces plaques sont réunies en faisceaux par des macarons jointifs, emboutis dans les plaques mêmes, en même temps que les ondulations.

Les plaques sont serrées les unes sur les autres par deux boulons qui traversent les faisceaux. La suite des macarons formés dans chaque plaque produit deux canaux de distribution ; par l'un se fait l'entrée de vapeur et par l'autre la sortie de l'eau condensée.

On remarquera que ces surfaces ne sont exposées à aucune détérioration, car elles reçoivent à l'intérieur de l'eau légèrement grasse qui n'est pas oxydante et à l'extérieur elles sont parcourues seulement par un courant d'air sec.

La pratique a montré que les plaques ainsi construites se conservent indéfiniment sans altération, si elles ne sont exposées, ni à la gelée, ni à la pluie.

Les ventilateurs tournent seulement à 300 tours, de telle façon que leur fonctionnement ne donne lieu à aucune usure.

L'appareil ainsi constitué n'exige donc, pour ainsi dire, aucun entretien et c'est là une considération extrêmement importante pour une installation de ce genre.

Dans cette installation, la question d'encombrement est tout à fait secondaire car le prix du terrain n'est pas élevé, elle n'a donc pas été étudiée en vue d'occuper peu de place.

D'autre part, la température élevée de l'air dans ce pays, a conduit à en faire circuler un très grand volume et par suite à donner aux ventilateurs des dimensions plus considérables qu'on ne le fait ordinairement.

Pour ces deux raisons, le volume des appareils est beaucoup plus élevé que dans les installations similaires ; il est de 570 m^3, soit 26 m^3 par 1 000 *kg* de vapeur condensée. Ce chiffre peut, dans d'autres conditions, être ramené à 8 m^3 par 1 000 *kg* de vapeur condensée par heure.

La vapeur des trois machines arrive par un tuyau de 60 *cm* de diamètre ; elle se distribue dans neuf séparateurs d'eau grasse et au sortir de ces appareils, elle se rend dans les faisceaux de plaques creuses. L'eau condensée dans ces plaques est extraite par trois pompes à air horizontales à clapets métalliques qui sont disposées pour pouvoir fonctionner, au besoin, en recevant de l'eau très chaude. Trois autres pompes aspirent l'eau grasse des séparateurs.

Dans ces pompes, comme dans les pompes à air, les garnitures de caoutchouc sont supprimées à cause de la quantité de graisse que contient l'eau et aussi à cause de la température qui peut, dans certains cas, s'élever à 80 et même 90°.

Toutes les eaux recueillies par les diverses pompes sont rejetées dans deux systèmes différents de filtres, le premier groupe de filtres reçoit les eaux provenant des condenseurs ; ces eaux sont presque complètement débarrassées de matière grasse et pourraient, à la grande rigueur, être employées directement à l'alimentation des chaudières, cependant, elles sont soumises à une filtration méthodique dans des filtres à charbon de bois ; elles sont, au sortir de ces filtres, à peu près chimiquement pures et ne contiennent qu'une quantité de matière grasse excessivement minime.

Les eaux grasses extraites des séparateurs sont généralement rejetées à l'égout après séparation de la couche de graisse qui les recouvre, dans les installations que nous faisons en Europe, mais à Kalgoorlie, le prix élevé de l'eau a rendu nécessaire l'utilisation des 2 m^3 d'eau que peuvent fournir chaque heure les séparateurs. Pour cela, ces eaux sont soumises à une filtration prolongée et méthodique sur des filtres à charbon et l'opération est terminée par une filtration sur des filtres à éponges.

On voit que de cette façon, toute l'eau provenant de la condensation de la vapeur des machines est recueillie et rendue utilisable par l'épuration que nous avons décrite.

L'emploi des séparateurs a pour but, dans le cas présent, de faciliter l'épuration totale de l'eau en limitant à 8 ou 9 0/0 le volume d'eau très chargé de matières grasses, tandis que 90 ou 92 0/0 du volume total sont obtenus à l'état de pureté presque complète.

On peut alors faire subir à la première partie, à cause de son faible volume, une filtration très énergique et très efficace, comme nous l'avons indiqué, tandis que la partie principale ne subit, au contraire, qu'une filtration très légère.

Le travail prévu pour les vingt-sept ventilateurs et les dix pompes est de 120 *ch*.

Si la dépense des machines est de 6 *kg* de vapeur par cheval, le travail absorbé par la condensation sera donc de 3 0/0 du travail fourni par les machines. Le vide obtenu dans les différentes périodes de l'année correspondra à une économie beaucoup plus grande que 3 0/0.

D'après la température du pays le vide moyen, à pleine charge, sera de 0,40 *m* de mercure pendant le jour et de 0,52 *m* pendant la nuit.

M. le Président, après avoir demandé à M. Fouché quelques renseignements complémentaires, le remercie de son intéressante communication qui sera publiée *in extenso* dans le *Bulletin*.

M. G. Fiévé a la parole sur un *conjoncteur-disjoncteur employé en électricité pour la charge des accumulateurs ou la mise en parallèle des dynamos.*

M. Fiévé dit qu'il avait apporté un appareil de 250 ampères, mais cet appareil vient malheureusement d'être détruit par un accident.

Les anciens appareils de conjonction ou disjonction opérant souvent au moment d'une forte différence de potentiel et, avec un certain retard, il se produisait des chocs sur la dynamo, chutes de courroies, plombs fusibles sautant, etc....

M. Fiévé donne la description de son appareil, qui sera publiée *in extenso* au *Bulletin*.

M. Marcel Delmas demande si les appareils de ce genre sont en service quelque part et, notamment, pour des stations de tramways.

M. Fiévé répond qu'il y en a un en service dans une station d'éclairage.

M. A. Bochet dit que le conjoncteur-disjoncteur que vient de décrire notre Collègue, M. Fiévé, est fort intéressant. Il a été étudié avec beaucoup de soin et renferme nombre de dispositions ingénieuses. M. Bochet croit cependant devoir présenter quelques observations sur l'appa-

reil lui-même et sur l'extension de son emploi au couplage en parallèle des dynamos.

Il a été réalisé déjà bien des appareils analogues pleins d'ingéniosité et d'un fonctionnement remarquablement précis. Néanmoins, l'usage de ces appareils ne s'est pas développé, malgré des besoins réels. Cela tient aux inconvénients graves qui résultent de leur complication et de leur délicatesse.

L'emploi de contacts à mercure nécessite une surveillance et un entretien qu'on ne peut obtenir qu'exceptionnellement.

L'importance des effets d'hystérésis dans l'appareil de M. Fiévé, ne permet pas un fonctionnement précis. Préoccupé d'assurer une faible résistance magnétique à l'ensemble du système, notre Collègue a donné un grand développement et un volume considérable aux pièces de fer fixes ou mobiles qui constituent ce circuit magnétique. Il n'est pas possible d'obtenir, dans ces conditions, une action rapide et exacte basée sur des inversions ou des variations brusques de l'action magnétique.

Toutefois, il n'y a pas impossibilité à atténuer pareil défaut et le principe de l'appareil de M. Fiévé répond bien aux nécessités du service des accumulateurs.

Mais son utilisation pour le couplage en parallèle des dynamos soulève de graves objections.

Le couplage en parallèle des dynamos à courant continu excitées en dérivation et même celui des dynamos compound ne présente aucune difficulté et cette opération est entrée depuis bien des années dans la pratique courante.

Le couplage est si aisé et les risques d'accident tellement réduits que l'emploi d'appareils de sécurité peut, en bien des cas, être considéré comme superflu. Aussi, bien des installations, même des mieux soignées et des plus importantes, ne comportent aucun dispositif de sécurité spécial pour le couplage.

Mais dans le cas où des appareils de sécurité sont reconnus utiles pour cette opération, il importe que ces appareils remplissent leur fonction de manière sûre et complète.

Un appareil de ce genre doit satisfaire aux conditions suivantes :

1° Permettre le couplage de la dynamo qu'il dessert seulement lorsque cette machine a la même polarité et le même voltage que les machines avec lesquelles elle doit être mise en parallèle;

2° Découpler automatiquement la dynamo, lorsqu'elle vient à recevoir des autres machines, pour une cause quelconque, un courant dont l'intensité est suffisante pour causer un danger ou un trouble dans le service. Il importe que ce découplage puisse se faire à tout moment, même à l'instant où le couplage vient d'avoir lieu.

La rupture du circuit au moment où le courant est nul n'a aucune utilité au point de vue de la sécurité et présente, au contraire, de sérieux inconvénients lorsque le débit de la station est soumis à de brusques et importantes variations. C'est le cas des distributions qui desservent des électromoteurs à charge variable ou des appareils d'utilisation dont le régime est irrégulier. On peut citer particulièrement le service des tramways et celui des navires de guerre où la commande électrique de

l'artillerie, des diverses machines auxiliaires du bord et des projecteurs électriques, provoque des variations de débit énormes et très rapides.

Pour éviter en pareil cas des perturbations sérieuses dans le service, perturbations dont les conséquences peuvent être des plus graves, il faut que les machines génératrices ne se découplent qu'en cas de nécessité réelle, c'est-à-dire lorsque le courant qui vient à faire retour dans l'une des dynamos, atteint une certaine valeur fixée à l'avance.

Le découplage doit donc se faire avec un courant de retour ayant une intensité notable. Divers systèmes appliqués aujourd'hui sur un grand nombre de navires de guerre français ou étrangers, satisfont pleinement à cette condition que ne saurait remplir l'appareil de M. Fiévé, en raison de la présence de contacts à mercure. Ces contacts ne peuvent interrompre un courant de forte intensité dans les conditions où ils doivent fonctionner sur l'appareil, et le système ne permet pas l'application d'autres contacts.

Pour le service des tramways électriques, on a tourné jusqu'ici la difficulté en se contentant de disjoncteurs à maximum, c'est-à-dire d'appareils automatiques qui découplent les dynamos, lorsqu'elles sont traversées par un courant exagéré passant dans un sens ou dans l'autre. Mais on pourrait aussi bien appliquer, en ce cas, les appareils usités dans la Marine, si la nécessité en était reconnue.

En résumé, le principe de l'appareil de M. Fiévé convient bien pour le but principal qu'il s'est assigné, c'est-à-dire pour le service des accumulateurs, et la pratique montrera si ce système est susceptible d'un bon usage. Mais il ne conviendrait pas d'en étendre l'emploi au couplage en parallèle des machines-dynamos.

M. G. Fiévé répond que l'appareil dont il s'agit a été plus spécialement étudié en vue du service de l'éclairage électrique qui ne présente pas, en effet, comme celui des tramways ou de la mise en marche de gros appareils de navires ou autres, des variations brusques et considérables. Il n'est donc pas étonnant qu'il ne réponde pas à une série complète de conditions très différentes et qui varient souvent avec chaque installation.

M. A. Bochet dit que l'appareil n'en est pas moins intéressant.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. M.-J. Barasch, E.-L. Gilbert, J.-J.-B. Joly, E. Loeschnigg, J. Rütgers, comme Membres sociétaires et de

M. G. Jeanne-Julien, comme Membre associé.

MM. G.-A. Bullier, G.-C. Catala, J.-E. Catala, C.-M. Clermidy et Ch.-L. Demonchy sont reçus Membres sociétaires et

M. Ch.-N. Boyn, Membre associé.

La séance est levée à 11 heures moins un quart.

Le Secrétaire,
Marcel Delmas.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 18 OCTOBRE 1901

PRÉSIDENCE DE M. CH. BAUDRY, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Au sujet du procès-verbal de la dernière séance et de la communication de M. E. Bert, M. LE PRÉSIDENT rectifie une erreur matérielle en ce qui concerne la date à laquelle doit être appliquée la disposition prise, à titre transitoire, par l'arrêté ministériel, au sujet des descriptions ou dessins mal établis pour les brevets d'invention. C'est jusqu'au 1er juillet 1902 que le délai est accordé, et non pas jusqu'au 1er janvier 1902, comme le dit le procès-verbal.

Au sujet de la même communication, de nouvelles observations sont présentées par MM. Lavoix, Armengaud jeune et P. Regnard, et il est donné lecture d'une note envoyée par M. Bert.

M. A. LAVOIX explique que la décision prise par M. le Ministre du Commerce de publier *in extenso*, et par fascicules séparés, les brevets dont la publication est prévue par la loi de 1844 est un progrès; mais qu'elle ne donne pas satisfaction complète aux besoins de l'industrie et de la science, parce que l'article 24 de la loi de 1844 dit : « *après le paiement de la deuxième annuité*, les descriptions et dessins seront publiés soit textuellement, soit par extrait, » et que l'on a besoin d'être renseigné sur tous les brevets, même sur ceux dont la deuxième annuité n'a pas été payée. C'est ce qui fait qu'il y a une grande utilité à ce que soit votée la loi Prache qui a pour objet la *publication intégrale de tous les brevets* du jour de leur délivrance, et à ce que les crédits suffisants pour l'application de cette loi soient inscrits au budget.

M. ARMENGAUD JEUNE remercie M. Regnard d'avoir rappelé, dans la dernière séance, l'initiative qu'il avait prise en 1884, et dépose sur le bureau la lettre qui a été adressée à cette époque, avec son rapport, à M. le Ministre du Commerce par l'Association des inventeurs et artistes industriels.

Il annonce ensuite que l'on bénéficiera bientôt d'une autre réforme très importante, proposée par lui aux Congrès de Vienne (1897), Londres (1898) et Paris (1900) et adoptée par la Conférence diplomatique de Bruxelles, consistant dans la prolongation de six mois à un an du délai de priorité accordé aux inventeurs pour la prise de leurs brevets dans les pays étrangers faisant partie de l'Union internationale créée par la convention de 1883.

M. P. Regnard croit qu'à l'époque de la discussion de la loi de 1844, l'idée du législateur était de consacrer le produit des recettes sur brevets, à leur publication, puis ces recettes ont été absorbées par le gouffre du budget, la recette étant supérieure à la dépense, puisque la publication est restée nulle ou à peu près.

Les méthodes actuelles de publicité et d'impression sont devenues bien moins chères qu'elles n'étaient en 1844. Si on faisait payer les fascicules un prix suffisant, la vente pourrait en couvrir les frais, surtout si on confiait cette vente à un industriel, ce qui faciliterait le vote d'une loi si désirable au sujet de cette publicité des brevets d'invention.

Dans les mains d'un industriel avisé, il peut y avoir là une source importante de bénéfices; il est possible qu'un industriel fasse le travail pour le Conservatoire des Arts et Métiers, en n'étant pas obligé de tirer toujours à un même nombre d'exemplaires, mais seulement de prendre des clichés permettant de tirer ensuite au nombre d'exemplaires qui pourra convenir suivant la valeur du brevet. L'un serait tiré à 100 exemplaires, par exemple, l'autre à 1 000 exemplaires. On les vendrait à prix modique; et cela suffirait à couvrir tous les frais en laissant une marge appréciable même de profit pour l'éditeur.

M. le Président dit que cette question est à l'ordre du jour au Conservatoire des Arts et Métiers et qu'elle sera probablement résolue dans le sens indiqué par M. Regnard.

Il est ensuite donné lecture de la note suivante de M. E. Bert :

« En ce qui concerne les observations de M. Regnard, je crois qu'il » est indispensable de préciser, d'une façon nette, ce qui s'est passé au » sujet de la centralisation des Services de la Propriété industrielle au » Conservatoire des Arts et Métiers, afin d'établir quel a été exactement » le rôle des diverses Sociétés qui se sont occupées de cette question. » Non seulement la Société citée par M. Regnard, mais encore plusieurs » autres, ont demandé cette réforme il y a quinze à vingt ans, et fait » de nombreuses démarches pour l'obtenir, mais leurs efforts, que je » suis le premier à reconnaître et à apprécier, n'ont malheureusement » abouti à aucun résultat.

» En présence de cet insuccès général, personne ne parlait plus de la » question depuis des années quand l'Association Française pour la Pro- » tection de la Propriété industrielle eut l'idée d'en poursuivre la réali- » sation au commencement de 1900; l'étude en fut confiée à une Com- » mission présidée par notre Collègue, M. S. Périssé, et dont faisaient » partie nos Collègues Armengaud jeune, Casalonga (qui fut le rappor- » teur), Fayollet et Simon, ainsi que plusieurs membres de l'Associa- » tion Française ne faisant pas partie de la Société des Ingénieurs Civils » de France.

» Pour vous faire connaître la suite qui a été donnée aux travaux de » cette Commission, je ne puis mieux faire que de vous citer le passage » suivant du compte rendu des travaux de l'Association Française pour » la Protection de la Propriété industrielle, présenté à son Assemblée » générale du 10 mai 1901 :

« En ce qui concerne la centralisation des Services de la Propriété » industrielle au Conservatoire des Arts et Métiers, nous avons soumis » aux principaux groupements syndicaux les conclusions du rapport » approuvé par votre Conseil, dans sa séance du 11 janvier dernier, et » après avoir obtenu leur approbation, qui a été complète, nous avons » demandé à la Chambre de Commerce de Paris de réclamer cette » réforme au Ministère du Commerce et de l'Industrie, *en lui facilitant* » *les moyens de la réaliser*. »

» Après avoir constaté par elle-même combien étaient défectueuses » et incommodes les conditions dans lesquelles étaient installés les » services de la Propriété industrielle au Ministère du Commerce et de » l'Industrie, dans un local d'une exiguïté excessive et loin du centre » des affaires, la Chambre de Commerce de Paris a pris en considéra- » ration la demande qui lui avait été adressée par l'Association Fran- » çaise pour la Protection de la Propriété industrielle avec l'appui des » grands groupements syndicaux de Paris. Et même pour montrer tout » l'intérêt qu'elle attachait à cette réforme, elle a bien voulu prendre à » sa charge les frais de l'installation des Services de la Propriété indus- » trielle au Conservatoire des Arts et Métiers, qui ne s'élèvent pas à » moins de 200 000 *f*, ainsi que cela est établi dans le contrat du 13 juin » 1901, intervenu entre M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie » et la Chambre de Commerce de Paris, contrat sanctionné par la loi » du 9 juillet 1901.

» En résumé, si l'Association Française pour la Protection de la Pro- » priété industrielle n'a pas eu l'idée première de la centralisation des » Services de la Propriété industrielle au Conservatoire des Arts et » Métiers, il est incontestable que la réalisation de cette réforme est due » aux études et démarches qu'elle a faites depuis dix-huit mois. Je n'a- » vais point cru devoir signaler ces divers détails dans ma communi- » cation, mais en présence des observations de M. Regnard, il me paraît » maintenant indispensable de les faire connaître : *suum cuique*.

» L'Association Française pour la Protection de la Propriété indus- » trielle, fondée il y a trois ans seulement, a précisément pour but, en » groupant toutes les personnes qui s'intéressent aux questions de Pro- » priété industrielle, de développer en France le goût de ces études, » comme le demande M. Casalonga, et de poursuivre la réforme des » diverses lois qui régissent cette matière et qui ne répondent plus aux » besoins du Commerce et de l'Industrie.

» Quant à la proposition de loi de mon excellent ami Prache, elle » avait pour but, à l'origine, d'obtenir la publication, par fascicules sé- » parés, de tous les brevets sans exception, mais M. le Ministre du Com- » merce et de l'Industrie s'étant approprié cette idée (ce dont on ne » peut que le féliciter), cette proposition perd un peu de son intérêt, » mais aura encore son utilité, car elle tend à modifier les articles 11 et » 24 de la loi du 5 juillet 1844, en autorisant le Ministre à remettre à » l'inventeur, comme titre officiel de son brevet, un exemplaire impri- » mé de la description et des dessins, au lieu du duplicata manuscrit » fourni par lui, comme cela se fait aujourd'hui. »

M. P. Regnard dit que la lettre de M. E. Bert n'infirme rien de ce qu'il a dit. Il était utile d'indiquer la priorité de M. Armengaud. Mais il est certain que pour enfoncer le clou planté par M. Armengaud, il a fallu beaucoup de coups de marteau.

M. le Président pense que nous devons remercier tous ceux qui ont bien voulu prendre le marteau en main pour frapper sur le clou, sans faire de distinction entre les ouvriers de la première et de la dernière heure. Il ajoute qu'il résulte de la discussion, qui vient d'avoir lieu, que le vote de la loi Prache est plus utile que ne paraît le croire M. E. Bert, puisqu'il est nécessaire pour permettre la publication des brevets dont la première annuité n'a pas été payée.

Sous réserve des observations qui précèdent, le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer à la Société le décès de plusieurs de nos Collègues :

MM. P.-B. Bonnassies, Membre de la Société depuis 1878, Ingénieur, fondé de pouvoirs de la Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine et des chemins de fer, chevalier de la Légion d'honneur;

A. Broechi, Membre de la Société depuis 1867. A dirigé pendant trente ans la maison Périn, Panhard et Levassor, constructeurs-mécaniciens ;

A. Chevalier, ancien élève de l'École Centrale (1880). Membre de la Société depuis 1881, fabricant de fécule. Président du Conseil d'administration de la Brasserie de Saint-Germain-en-Laye ;

E. Congy, Membre de la Société depuis le 5 juillet 1901. Attaché au Bureau Veritas: visite et classification spéciale des yachts à vapeur ou à voiles, à pétrole, électriques, etc.

M. le Président a le plaisir d'annoncer à la Société les décorations suivantes :

Ont été nommés :

Commandeurs de l'Ordre de François-Joseph : MM. E.-J. Barbier, L. Salomon;

Commandeur de la Couronne d'Italie : M. E. Gruner ;

Ordre de Saint-Stanislas de Russie (2e classe) : MM. L. Appert, E. Boire, E. Firminhac, C. Balsan, Ch. Bourdon, R.-V. Picou, A. Bajac, A. Ronna ;

Ordre de Saint-Stanislas de Russie (3e classe) : MM. Ch. Marteau, L. Duvignau de Lanneau, G.-L. Raulin, L. Magne, G. Trélat, P. Masson, E. Surcouf, P. Arbel, J. Ragot, N. Roser, A. Postel-Vinay.

Chevaliers (3e classe) de la Couronne de fer d'Autriche : MM. Ch. Bourdon, L. Masson, H.-A. Schmid, R.-V. Picou ;

Chevalier de l'Ordre de François-Joseph : M. J. Le Cœur.

M. J. Joly a reçu de la Société industrielle d'Amiens une médaille d'argent.

M. le Président a le plaisir d'annoncer à la Société que M. Grosdilier, ainsi qu'il le fait chaque année, nous a adressé à titre de don une

somme de 64 *f*, il est heureux de lui renouveler les remerciements de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance.

Cette liste sera insérée dans un prochain Bulletin.

M. LE PRÉSIDENT dit que l'ouverture de l'École Spéciale d'Architecture a eu lieu aujourd'hui et que M. E. Trélat, notre ancien Président, Directeur de l'École, avait bien voulu, ainsi qu'il le fait chaque année, inviter la Société à se faire représenter à la séance d'ouverture.

Il lui en adresse, ici, les plus vifs remerciements de la Société.

M. LE PRÉSIDENT appelle tout particulièrement l'attention des Membres de la Société sur un concours ouvert pour des emplois de chefs de section au Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers (1).

L'ordre du jour appelle la communication sur *le troisième Congrès de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, tenu à Buda-Pesth, du 9 au 14 septembre 1901 :*

a) *Section des Métaux*, par M. E. Le Blant ;

b) *Section des Ciments*, par M. E. Candlot.

La parole est à M. E. Le Blant, pour sa communication sur la *Section des Métaux.*

Le mémoire de M. Le Blant paraîtra *in extenso* au *Bulletin.*

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Le Blant de son travail très clair et très précis, et donne la parole à M. P. Arbel, qui a également assisté au Congrès.

M. ARBEL demande à présenter quelques observations sur les conséquences que peuvent avoir, pour les producteurs, l'adoption prématurée des nouvelles méthodes d'essai, d'après les indications qui ont été données au Congrès de Buda-Pesth.

Après avoir fait remarquer que notre éminent collègue M. Le Blant vient de résumer avec autorité et impartialité les travaux du congrès, M. Arbel constate que le principal intérêt de ce congrès résidait en

(1) L'avis suivant, relatif à ce concours a été inséré au *Journal Officiel* du 25 octobre 1901 :

Un concours sur titres est ouvert pour des emplois de chefs de section au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers.

Trois sections sont actuellement vacantes à ce Laboratoire : section d'essais physiques et de métrologie ; section d'essais mécaniques et de matériaux ; et section d'essais de machines.

Les demandes, accompagnées des titres et des états de service, des travaux scientifiques, des fonctions industrielles des candidats, devront être adressées au Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes (Direction de l'Enseignement technique), avant le *15 novembre prochain.*

Tous les renseignements complémentaires seront fournis aux candidats soit à la Direction du Conservatoire national des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin, soit au Ministère du Commerce (Direction de l'Enseignement technique), 101, rue de Grenelle.

effet dans les travaux de l'école française, sur les démonstrations de la fragilité des métaux.

Il ne lui appartient pas d'apprécier la valeur des méthodes proposées, et si nous devions rester dans le domaine spéculatif jusqu'à ce que l'examen de nombreux résultats ait permis d'arrêter avec certitude les principes des méthodes, et de chiffrer les résultats à obtenir, M. Arbel serait le premier à approuver sans réserve cette émulation.

Mais certaine partie des discussions qui se sont produites au Congrès ont prouvé qu'en France on désirait, en haut lieu, brusquer les solutions, et il croit devoir mettre au courant ceux qui, parmi nous, s'intéressent aux essais des matériaux, de ce qui se prépare et de ce que l'on veut imposer à bref délai à nos industriels en pratique courante.

En dehors des travaux des particuliers, l'État a institué deux Commissions d'études des matériaux de construction :

1° L'une appelée Commission française d'unification des méthodes d'essais ;

2° L'autre chargée de codifier les cahiers des charges pour la fourniture du matériel de chemins de fer et d'unifier les types du matériel.

La première est celle qui se relie à l'Association internationale des méthodes d'essais des matériaux, dont le Congrès de Buda-Pesth a été l'émanation directe, et comprend, indépendamment des spécialistes, un grand nombre d'industriels qui, entre parenthèse, n'y ont jamais été convoqués.

L'autre a été instituée au mois de mai de cette année par M. le Ministre des Travaux publics, et son titre en indique suffisamment le but.

La première commission d'unification des méthodes d'essais poursuit depuis plusieurs années, avec autorité, des études successives sur les diverses méthodes d'essais des matériaux de toute nature, et les volumineux et intéressants rapports qu'elle a publiés sont la preuve de son activité et de sa compétence.

La deuxième Commission, dite de l'unification du matériel des chemins de fer, est de date récente (16 mai 1901), et ses attributions ont été définies par une instruction de M. le Ministre des Travaux publics, publiée au *Journal officiel* de même date, dans laquelle il n'est pas question d'introduire de nouvelles méthodes d'essais, mais bien de codifier, en les unifiant, les cahiers des charges aujourd'hui en usage sur les divers réseaux pour la fourniture des métaux et matières entrant dans la constitution du matériel.

Il ressort de cette instruction que le Ministre a voulu faire de l'unification et surtout de la simplification, afin de faciliter l'économie dans la construction du matériel.

Il semble donc que les industriels, c'est-à-dire les producteurs, devraient trouver, dans cette Commission, des appuis naturels et l'espérance d'une simplification dans les exigences des cahiers des charges. M. Arbel le croyait fermement pour sa part quand se produisit l'incident du vœu de M. Sauvage, présenté au Congrès de Budapest, et dont M. Le Blant a parlé dans son compte rendu.

Ce vœu n'a pas été voté par le Congrès sous la forme que lui avait donnée d'abord son auteur. Le texte primitif était le suivant :

« La Section A du Congrès émet le vœu que, à côté des essais géné-
» ralement prescrits par les divers cahiers des charges pour la réception
» des métaux, et à titre de renseignements, on effectuera, autant que
» possible, des essais par choc sur barreaux entaillés, par poinçonnage,
» par empreinte de billes; afin d'étudier la correspondance des diverses
» méthodes d'essai et de fixer les données numériques applicables avec
» les nouvelles méthodes. »

M. Arbel provoqua une réunion préliminaire des délégués français dans laquelle il crut devoir protester contre l'application anticipée de méthodes encore dans l'enfance, montrant qu'elle pouvait avoir pour conséquences de compromettre gravement les intérêts, et peut-être même l'existence, de certaines régions industrielles, et ajoutant que, si les industriels étaient probablement disposés à étudier ces nouvelles méthodes et à aider, dans leurs recherches, les techniciens à titre d'étude, ils ne pourraient pas accepter que, sans préavis, on vînt leur imposer d'office des méthodes de contrôle, dont les promoteurs eux-mêmes ne pouvaient arriver à uniformiser la pratique, ni à se mettre d'accord sur les résultats à obtenir.

M. Arbel eut la satisfaction de voir appuyer son opinion et ses réserves par la presque totalité des membres de la réunion composée d'ingénieurs des services de contrôle des chemins de fer, de l'artillerie de terre et de marine, etc., et il fut décidé que le vœu de M. Sauvage serait amendé, qu'on supprimerait le mot *cahier des charges*, et que le mot *renseignement* serait remplacé par celui d'*étude*.

Ce vœu, ainsi amendé, fut présenté et adopté par le Congrès en séance plénière.

Mais de la discussion qui avait eu lieu, M. Arbel a cru pouvoir conclure que, dans l'esprit de la Commission dite d'unification du matériel de chemin de fer ou du moins de certains de ses membres, il était d'ores et déjà arrêté qu'on introduirait d'office, par voie administrative, et d'une façon obligatoire, les essais dits de fragilité en complément aux méthodes actuelles.

M. Arbel demande si ces méthodes ont bien la certitude scientifique dont parlent leurs auteurs, et qu'il lui soit permis de s'en référer à leurs propres appréciations tirées du procès-verbal de la réunion du 13 juin de la section française de l'Association internationale des méthodes d'essai. Il cite textuellement :

« A la demande faite de savoir si, d'ici au Congrès de Budapesth, on
» sera en mesure de formuler les conditions précises de l'essai de fragi-
» gilité et de l'essai de dureté par billes, M. Henry Le Chatelier répond
» qu'en quelques jours, si on le voulait, on pourrait trancher la question
» de l'essai par billes ; que la question de l'essai de fragilité, beaucoup
» plus importante, demanderait une étude un peu plus prolongée ; qu'il
» ne suffirait pas ici de quelques jours, mais qu'en quelques semaines
» avec un peu de bonne volonté, on pourrait certainement en voir la
» fin. »

Ainsi donc, tout paraît terminé ou va l'être et on va pouvoir immédiatement entrer dans le domaine de la pratique du cahier des charges.

Pourtant l'un des membres de la réunion, et non pas l'un des moins

autorisés, fait remarquer que l'essai par billes n'apprend rien de plus que l'essai de traction. Un autre dit qu'il ne voit pas l'intérêt de remplacer l'essai de traction, avec ses multiples indications, par l'essai des billes qui ne mesure aucune propriété bien déterminée de la matière.

Quant à l'essai de fragilité, pour lequel on demande seulement quelques semaines d'étude pour la mise au point, voici ce que le procès-verbal nous dit qu'il reste à faire à la date du 13 juin 1901.

« Comparer les différents modes opératoires proposés par MM. Barba » et Le Blant, Fremont, Charpy, pour déterminer :

» 1° La forme de l'entaille;

» 2° La profondeur de l'entaille;

» 3° Le mode de rupture. »

M. Arbel se demande, tout cela restant à faire, si on peut dire que la question est résolue ?

Il termine en constatant que, si l'utilité de l'étude de la fragilité des aciers parait avoir réuni tous les suffrages, on peut s'inquiéter à bon droit, de la diversité des méthodes proposées pour constater cette propriété, de l'irrégularité des résultats obtenus, des conclusions que l'on en tire, des critiques que chaque promoteur de méthode fait des autres méthodes.

Et pourtant, malgré l'incertitude qui règne encore sur ces méthodes, et surtout sur les coefficients qui serviront à prononcer l'acceptation ou le rebut des produits contrôlés par elles, on a laissé entrevoir, dans les circonstances précitées, que ces essais allaient sous peu devenir obligatoires en France.

M. Arbel a cru nécessaire de mettre les membres de la Société des Ingénieurs Civils de France, comme le Comité des Forges de France, au courant de ce qui se passe, car il croit que les intérêts des consommateurs et des producteurs sont identiques. Il croit fermement que, si les méthodes nouvelles d'essais méritent d'être encouragées en vue, non d'une complication, mais d'une simplification; si surtout leurs auteurs doivent entourer leurs travaux de la plus grande sincérité, non seulement dans l'exposé des faits et la constatation des résultats, mais aussi dans la recherche impartiale des causes extérieures qui peuvent expliquer ces résultats en dehors d'idées préconçues; s'il est désirable que les industriels se tiennent au courant et se familiarisent avec ces procédés en vue d'y conformer peu à peu leurs produits, il ne peut être question en l'état d'en faire l'application officielle et obligatoire dont on parle, en vue d'en faire dépendre l'acceptation ou le refus des produits métallurgiques.

Il conclut qu'il serait à souhaiter que la Société des Ingénieurs Civils de France s'émût de cette situation et complétât le vœu, amendé déjà, de M. Sauvage, en décidant d'envoyer, tant à l'Association internationale des Méthodes d'essais, qu'à la Commission du Matériel de Chemins de fer du Ministère des Travaux publics, une motion tendant à ce que ces essais sur la fragilité soient poursuivis également chez les industriels, mais à titre d'étude seulement, et sans que les résultats, quels qu'ils soient, puissent influer sur la réception ou le refus des

métaux présentés, jusqu'au moment où ces nouvelles méthodes auront acquis une certitude scientifique et pratique.

M. le Président croit que ce serait sortir du sujet à l'ordre du jour que de discuter les intentions, encore peu connues, de la Commission dite d'unification du matériel des chemins de fer et l'étendue de ses pouvoirs. De nouvelles méthodes d'essai ne doivent, évidemment, s'imposer que par la démonstration de leur valeur scientifique. Celles dont vient de nous entretenir M. Arbel ont déjà fait l'objet de nombreuses discussions soit ici, soit ailleurs. Il est très intéressant d'en poursuivre l'étude et la discussion parce qu'elles ont la prétention de renseigner sur la fragilité, et qu'en ce qui concerne, notamment, l'acier, c'est la fragilité qui préoccupe avant tout le consommateur. Si l'on arrivait à donner un bon et sûr critérium de la fragilité, il n'y aurait besoin d'aucune autorité pour l'imposer, il s'imposerait de lui-même.

M. P. Arbel. — Je suis de votre avis, Monsieur le Président. Quand j'ai discuté la question de savoir s'il y avait lieu d'appliquer immédiatement les méthodes d'essai, je n'ai pas voulu discuter les principes des méthodes, mais simplement faire connaître aux intéressés quelles sont les conceptions d'une Commission dont le but a été nettement défini.

Nous avons intérêt, nous, producteurs, à étudier avec les consommateurs, les différentes méthodes et leur caractère de certitude, mais nous avons aussi intérêt à ne pas nous trouver devant un fait acquis, pour présenter à temps nos observations sur un point déterminé.

M. P. Regnard fait remarquer que, si intéressantes que soient les études relatives à la fragilité et les recherches poursuivies pour la mesurer, cette question n'offre un réel intérêt que pour les pièces destinées, par leur emploi, à subir des chocs, et que les essais actuels de résistance à la traction restent suffisants pour bien des applications du fer et de l'acier, comme les charpentes, les piliers, etc., etc. Il rappelle qu'on pratique depuis longtemps, d'ailleurs, des essais de fragilité, notamment, par exemple, pour les bandages de roues de locomotives et de wagons.

Vu l'heure avancée, M. Regnard propose de remettre à une autre séance ses observations sur la résistance des matériaux et la discussion, trop importante pour être traitée incidemment, de cette question qui intéresse tous les ingénieurs.

M. L. Rey. — M. Le Blant a parlé d'expériences faites récemment pour déterminer la direction des efforts, dans l'intérieur des solides, en opérant sur des matières transparentes.

Je ne sais si cette idée est présentée comme nouvelle; mais je désire rappeler que les Bulletins de notre Société renferment des études très intéressantes sur ce sujet.

Ils contiennent notamment l'analyse, par M. Dallot, d'une communication de M. Nickerson à la Société américaine des Ingénieurs civils (1873), ainsi que les travaux de notre Collègue, M. Léger (1877-1878-1879).

Il serait intéressant de comparer les résultats de ces expériences déjà anciennes avec ceux dont vient de nous entretenir M. Le Blant.

M. Auguste Moreau. — Je demanderai un simple renseignement au sujet d'un procédé qui m'a frappé : c'est celui qui consiste à perforer des trous dans une tôle et à faire du pliage. D'après ce qu'a dit M. Le Blant, à l'inspection des criques produites du côté de l'extension, on en tire des conclusions précieuses. C'est une idée qui n'est pas entièrement nouvelle. Bien des personnes ont eu l'idée d'étudier les criques dans les trous où il y a des rivures, par exemple. Mais elle paraît avoir été ici appliquée d'une manière particulièrement ingénieuse et intéressante. Je demanderai donc à M. Le Blant s'il pourrait nous donner quelques compléments de détails à ce sujet.

M. Le Blant. — Messieurs, le mémoire présenté au Congrès a été fait par M. Guillery, Directeur de l'Usine de Constructions mécaniques, à Denain ; je n'oserais pas prendre la parole à sa place. Il m'avait promis de m'envoyer des notes supplémentaires, justement parce qu'il prévoyait que ces choses étaient intéressantes ; en particulier, cette découverte d'un essai permettant de différencier la fabrication au convertisseur de la fabrication Martin ; malheureusement, les notes supplémentaires qu'il m'avait promises ne me sont pas encore parvenues. Mais, quand elles me parviendront, je pense qu'il m'autorisera à les déposer à la Société, et tout le monde pourra en prendre connaissance.

M. le Président. — Personne ne demande plus la parole sur la communication de M. Le Blant ?

Je le remercie de nouveau, et je donne la parole à M. Candlot, pour nous parler de la *Section des Ciments*.

M. E. Candlot donne un résumé des communications présentées au Congrès dans la section des ciments. Il passe en revue les travaux de M. Le Chatelier et de M. Maynard sur la décomposition des mortiers à la mer, de M. Deval sur la composition du sulfoaluminate de chaux et sur l'action du sulfate de chaux, de M. Leduc sur la dissociation des ciments, de M. Cajo sur la corrosion des maçonneries en briques due à la présence des sulfates alcalins, de M. Tetmayer sur l'influence de quelques sels sur la prise et l'allure de durcissement du ciment.

En ce qui concerne les essais proprement dits, M. Gary a présenté un rapport sur l'état actuel des essais de ciment en Allemagne et il a proposé des conclusions qui ont été renvoyées à l'examen du comité directeur. M. Mercier avait envoyé un rapport sur les essais de flexion ; MM. Zéelinski et Zhuk ont exposé les méthodes comparatives d'essai pour les ciments romains. M. Egar a parlé de l'essai des matériaux de construction par l'administration du bâtiment de l'État prussien. M. Bélélubsky a présenté deux rapports sur le choix d'un sable normal et sur l'hydromodule des ciments.

Sur la question des essais accélérés M. Candlot résume les rapports de MM. Berger, Blount et Le Chatelier.

M. Foss a parlé de la détermination des coefficients de résistance du

ciment Portland permettant de calculer les résistances des travaux en ciment d'après la méthode de M. Féret.

M. Féret a exposé les résultats d'expériences sur l'adhérence des mortiers.

M. Considère avait envoyé une note sur le béton armé.

M. Candlot termine en souhaitant que les membres français se retrouvent très nombreux au Congrès de Pétersbourg qui doit avoir lieu en 1903.

M. le Président. — Messieurs, les deux communications que vous venez d'entendre montrent la grande importance du Congrès qui vient d'être tenu à Buda-Pesth, par l'Association internationale pour l'essai des matériaux. Nous ne saurions méconnaître les résultats que peuvent donner ces réunions et l'autorité qui s'attache à leurs travaux. Nous sommes d'ailleurs tous d'accord, avec M. Arbel, pour demander que cette autorité ne s'impose pas par la force, mais par la persuasion.

Il me reste à remercier vivement, non seulement les auteurs de ces deux communications, qui ont rendu compte avec beaucoup de clarté de ce qui s'est passé à Buda-Pesth, mais encore tous ceux de nos Collègues, et en particulier M. Arbel, qui a été nommé vice-président d'une des sections du Congrès, et qui y ont représenté avec autorité la Société des Ingénieurs Civils de France.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. M.-L. Algrin, H.-A. Bertin, E.-H. Coignard, G.-L. Gauthier, P.-J.-B. Guillot, G. Humruz, S. Lacombled, A.-L.-P. Malliary, P. Pedrazzi, S.-L. Ravier, S. Sotomayor, Ch.-H. Straw, A.-A. Villard, comme Membres Sociétaires et de :

MM. Ch.-E. Baillet, N. Boncourt, J. de Dusmet, comme Membres Associés.

MM. M. Barasch, E.-L. Gilbert, L. Gouverner, J.-J.-B. Joly, E. Lœschnigg, et J. Rütgers sont reçus Membres Sociétaires, et :

M. G. Jeanne-Julien, Membre Associé.

La séance est levée à 11 heures.

Le Secrétaire,
Marcel Delmas.

MODIFICATIONS RÉCENTES

APPORTÉES A LA LÉGISLATION FRANÇAISE

en ce qui concerne les brevets d'invention (1)

PAR

M. Émile BERT

Messieurs, dans le mémoire que j'ai eu l'honneur de vous présenter lors de la célébration du cinquantenaire de notre Société, en juin 1898, je vous disais :

« En France, les brevets d'invention ont été réglementés pour » la première fois, par la loi du 25 mai 1791, qui a été rem» placée par la loi du 5 juillet 1844, sous l'empire de laquelle » nous nous trouvons encore aujourd'hui.

» Cette loi n'a subi, depuis 54 ans, aucune modification, sauf » en ce qui concerne la Convention internationale de 1883, que » j'ai rappelée plus haut.

» Excellente dans son ensemble, cette loi aurait besoin d'être » modifiée dans quelques-unes de ses dispositions, afin de la » mettre en harmonie avec les exigences actuelles de l'Industrie.

» Plusieurs fois il a été question d'y apporter les modifications » reconnues nécessaires par tous ceux qui s'intéressent à ces » questions, mais jusqu'à présent, rien n'a été fait.

» La plupart des grandes nations étrangères nous ont devancés » sur ce point et notre législation, qui a servi de modèle à bien » des pays, se trouve aujourd'hui en retard sur presque toutes » les autres.

» Il est pénible de constater que le législateur français semble » se désintéresser de ces questions, et il faut espérer que la » législature qui vient de commencer, ne se terminera point, » comme ses devancières, sans que les Chambres se soient oc» cupées de ces questions pourtant si vitales à tous les points » de vue et qui présentent un intérêt considérable pour le Com» merce et l'Industrie. »

Nous sommes heureux de constater aujourd'hui que des améliorations très importantes viennent enfin d'être apportées au régime des Brevets d'invention en France.

(1) Voir procès-verbaux des 4 et 18 octobre, pages 628 et 635.

Une loi du 9 juillet 1901 a institué un *Office national des Brevets d'invention et des Marques de fabrique* qui a été installé au Conservatoire national des Arts et Métiers et ouvert au public le premier de ce mois. Par suite de cette nouvelle organisation, tous les services de la Propriété industrielle vont se trouver désormais réunis au Conservatoire des Arts et Métiers : la communication des Brevets d'invention et des Marques de fabrique au public, qui se faisait jusqu'ici dans des conditions déplorables à tous points de vue, va avoir lieu maintenant avec toute la célérité que peuvent désirer les intéressés.

Une autre réforme que permettra de réaliser la loi du 9 juillet 1901, consiste dans la publication intégrale et complète, par fascicules séparés, des Brevets d'invention (1). C'est une amé-amélioration qui est réclamée avec insistance depuis longtemps et dont nous sommes heureux de voir la réalisation sur le point d'aboutir. Dans le but d'obtenir la reproduction des dessins d'une façon uniforme et économique, M. le ministre du Commerce et de l'Industrie a pris, à la date du 3 septembre dernier, en vertu de l'article 7 de la loi du 9 juillet 1901, un arrêté qui détermine dans quelles conditions de forme devront être exécutés les descriptions et dessins annexés aux demandes de brevets d'invention qui seront déposés à partir du 1er janvier 1902.

Beaucoup de Collègues pouvant avoir à prendre des brevets, j'estime qu'il est utile de vous faire connaître le texte complet de cet arrêté du 3 septembre dernier; il est ainsi conçu :

Article premier. — Les descriptions annexées aux Brevets d'invention et certificats d'addition, conformément à l'article 6 de la loi du 5 juillet 1844, seront écrites à l'encre ou imprimées correctement, en caractères nets et lisibles, sur un papier de format uniforme, de 33 *cm* sur 21 *cm*, avec une marge de 4 *cm*. L'original ne devra être écrit ou imprimé que sur le recto de la feuille.

Aucun dessin ne devra figurer dans le texte ni en marge des descriptions.

Art. 2. — Les dessins seront exécutés sur des feuilles de papier ayant les dimensions suivantes : 33 *cm* sur 21 ou 42 *cm*, avec une marge intérieure de 2 *cm*, de sorte que le dessin soit

(1) Circulaire de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie du 10 septembre 1901 (*Journal officiel*, du 11 septembre, lire p. 5858, 2e col.).

compris dans un cadre de 29 *cm* sur 17 *cm* ou 29 *cm* sur 38 *cm*. Ce cadre devra être constitué par un trait unique de un demi-millimètre d'épaisseur environ.

Dans le cas où il serait impossible de représenter l'objet breveté par des figures pouvant tenir dans un cadre de 29 sur 38 *cm*, l'inventeur aura la faculté de subdiviser une même figure en plusieurs parties dont chacune sera dessinée sur une feuille ayant les dimensions ci-dessus déterminées : la section des figures sera indiquée par des lettres de référence.

Les figures seront numérotées sans interruption de la première à la dernière, à l'aide de chiffres arabes.

Si les planches sont numérotées, les chiffres seront placés en dehors du cadre.

L'original sera tracé à l'encre, en traits réguliers et parfaitement noirs, sur un papier bristol ou autre papier blanc, fort et lisse, permettant la reproduction par les procédés photographiques ; aucunes teintes, ombres ou lavis ne devront être apposés ; ils seront remplacés, si cela est nécessaire, par des hachures régulières et espacées.

Le duplicata pourra être exécuté sur toile ou sur papier et porter des teintes.

L'échelle employée sera suffisamment grande, toutefois sans exagération, de façon qu'il soit possible de reconnaître exactement l'objet de l'invention sur une reproduction réduite aux deux tiers de la grandeur des dessins. L'échelle indiquée sera tracée d'après le système métrique.

Les dessins ne contiendront aucune légende ou indication autre que les numéros des figures et les lettres (majuscules ou minuscules) ou chiffres de références, dont la hauteur sera de 3 à 8 *mm*. On ne devra employer que des caractères français.

Les légendes reconnues indispensables par les inventeurs pour l'intelligence de leurs dessins seront placées par eux dans le corps de leur description.

La signature de l'inventeur ou de son fondé de pouvoirs sera placée en dehors du cadre.

Les dessins ne devront pas être pliés ; ils seront remis, lors du dépôt, soit à plat, soit enroulés sur des cylindres, de manière à être exempts de plis ou de cassures.

Art. 3. — Il ne sera pas reçu de gravure sur bois ni représentation de l'invention autre que les dessins préparés de la manière

décrite plus haut, à moins qu'elles ne soient de nature à se prêter à la reproduction par un procédé dérivé de la photographie.

Art. 4. — Les présentes dispositions seront applicables aux demandes de Brevets d'invention dont le dépôt sera effectué à partir du 1er janvier 1902.

Disposition transitoire.

Art. 5. — Jusqu'au 1er juillet 1902, et par mesure essentiellement provisoire, les descriptions et les dessins qui ne seraient point exécutés dans les conditions indiquées dans le présent arrêté seront renvoyés à l'inventeur avec invitation d'avoir à fournir de nouvelles pièces régulières, dans le délai d'un mois.

Un exemplaire conservé par l'Office national des Brevets d'invention et des Marques de fabrique servira à vérifier la concordance entre les documents successivement produits.

Dans le cas où le déposant ne répondrait pas audit avis dans le délai imparti, la demande de brevet serait rejetée, conformément à l'article 12 de la loi du 5 juillet 1844.

En cas de nécessité justifiée, le délai accordé à l'inventeur pourra être augmenté, sur sa demande.

Art. 6. — Le directeur de l'Office national des Brevets d'invention et des Marques de fabrique est chargé d'assurer l'exécution du présent arrêté.

Les dispositions contenues dans cet arrêté sont parfaitement claires et précises; elles me paraissent très justes et indispensables pour obtenir une publication dans de bonnes conditions. Je ne vois à critiquer que la disposition transitoire en ce sens qu'elle devrait être définitive. Il n'est pas admissible qu'un inventeur puisse perdre le bénéfice de la date du dépôt d'un brevet pour une simple erreur de forme. Aussi faut-il espérer qu'avant l'expiration de la période d'essai, un nouvel arrêté ministériel rendra définitif l'article 5 de l'arrêté du 3 septembre dernier.

La publication intégrale des brevets conduit forcément à donner à l'administration le droit de vérifier si les pièces déposées par les inventeurs sont conformes aux prescriptions légales, mais il ne faut pas que ce droit puisse nuire aux intérêts des inventeurs et il est indispensable que ceux-ci aient toujours la faculté de refaire les pièces irrégulières qu'ils auraient dépo-

sées. Bien entendu, dans la confection de ces nouvelles pièces, l'inventeur ne pourra rien changer à la teneur des documents précédemment déposés; il ne pourra que modifier l'exécution matérielle de sa description ou de ses dessins; l'exemplaire primitif qui restera entre les mains de l'administration permettra toujours de vérifier s'il n'y a pas eu de changement.

La loi du 9 juillet 1901 a été complétée par un décret portant la même date, par lequel a été modifiée l'organisation du Conservatoire national des Arts et Métiers et qui a institué une Commission technique de l'Office national des Brevets d'invention et des Marques de fabrique. Cette Commission est présidée par notre ancien président, M. Reymond.

M. Georges Breton, ancien chef de division au Ministère du Commerce, a été nommé Directeur de l'Office national des Brevets d'invention et des Marques de fabrique; c'est un homme d'initiative qui saura certainement organiser ce service d'une façon remarquable et nous sommes certain que dans un court délai la France n'aura plus rien à envier aux organisations identiques qui fonctionnent à l'étranger; nous sommes même persuadé que le groupement au Conservatoire national des Arts et Métiers, de l'Office national de la Propriété industrielle avec les admirables collections et la remarquable bibliothèque scientifique qui s'y trouvent, constituera un ensemble du plus grand intérêt, que l'on ne trouve dans aucun pays étranger.

Les réformes dont je viens d'avoir l'honneur de vous entretenir sont dues à la persévérante initiative et aux démarches de l'Association française pour la protection de la Propriété industrielle, dont un grand nombre de nos Collègues font partie.

Il est de mon devoir aussi de vous signaler que c'est grâce au puissant concours des grands groupements syndicaux et de la Chambre de commerce de Paris, qui a bien voulu prendre à sa charge les frais de premier établissement, que l'Office national de la Propriété industrielle a pu être installé au Conservatoire national des Arts et Métiers.

AÉROCONDENSEUR DE 4500 CHEVAUX

PAR

M. Frédéric FOUCHÉ

L'aérocondenseur, dont je vais entretenir la Société, doit être installé à Kalgoorlie, dans l'Ouest Australien.

Il est destiné à condenser la vapeur des machines d'une importante station centrale d'électricité que fait en ce moment, dans cette ville, la « Kalgoorlie Electric Power and Lichting Corporation Limited », de manière à recueillir l'eau provenant de la condensation pour l'utiliser à l'alimentation des chaudières et de manière aussi à produire au condenseur un certain vide qui sera variable suivant la température extérieure, mais qui sera, en tout cas, suffisant pour donner une très importante économie de vapeur et de combustible.

Kalgoorlie est actuellement le centre le plus important d'exploitation des mines d'or dans l'Australie de l'Ouest. Ce seul district a fourni, en 1899, environ 80 millions de francs, soit à peu près la moitié de la production totale de la colonie.

Dans cette région, l'exploitation est entièrement souterraine; par suite, il faut une force motrice considérable pour l'extraction puis pour le broyage du minerai. Toutes les usines sont donc pourvues de puissantes machines, mais le plus grand nombre de ces installations, faites à mesure du développement de ces exploitations, sont très imparfaites; toutes sont cependant pourvues de condenseurs, parce que la récupération de l'eau est chose indispensable dans ce pays; mais ces condenseurs construits dans le pays, par des moyens très primitifs, ne permettent pas d'obtenir le vide, ce qui occasionne une dépense de combustible exagérée dans les machines; souvent aussi, ils donnent lieu à des pertes d'eau plus ou moins importantes, soit par suite de la condensation incomplète de la vapeur ou par la production de fissures dans les condenseurs.

La « Kalgoorlie Electric Power et Lighting Corporation Limited » s'est fondée pour produire la force motrice dans les conditions

les plus favorables, et pour la distribuer aux usines à un prix plus avantageux que celui qu'elles peuvent obtenir par leurs propres installations.

La première installation de la Société, exécutée sous la direction de MM. White et C° de Londres et de New-York, comporte trois machines compound verticales dont la dépense totale de vapeur pourra atteindre, par heure, 48 000 livres anglaises, soit environ 22 000 *kg*.

Nous estimons qu'elles pourront fournir, au maximum, 4 500 *ch*.

Dans toutes les installations que l'on fait dans cette région, la plus grosse difficulté est de se procurer l'eau nécessaire pour l'alimentation des générateurs et pour le traitement des minerais; c'est aussi une très grosse dépense. M. Jules Garnier, dans le mémoire qu'il a présenté à la Société en 1899, a dit combien l'eau est rare dans ce pays; nous nous bornerons à citer ici quelques chiffres :

En 1897, il est tombé à Coolgardie 140 *mm* de pluie et à Kalgoorlie, pendant la même année, 119 *mm*.

En 1894, il est tombé seulement à Kalgoorlie 68 *mm* d'eau.

D'autre part, l'air est en général extrêmement sec; sa puissance d'évaporation est, à Kalgoorlie, de 2,128 *m* par an, c'est-à-dire que le niveau d'une nappe d'eau exposée à l'action de l'air s'abaisserait en un an de 2,128 *m*.

Toutes les eaux employées dans les usines proviennent donc d'infiltrations souterraines ou d'étangs abrités contre l'évaporation par une épaisse couche de sel; elles sont, bien entendu, très chargées de sel : ainsi l'eau employée dans une des principales mines contient par litre 4 *g* de sulfate de chaux, 5 *g* de sulfate de magnésie, 15 *g* de chlorure de magnésium et 21 *g* de sel marin, au total 46 *g* de matières salines.

Dans une autre mine, on a employé, en 1897, de l'eau qui contenait 170 *g* de sel par litre et, pendant l'été, la quantité de sel s'est élevée à 300 *g* par litre. Ce liquide, qui ne peut plus guère s'appeler de l'eau, se payait à la mine 7 *f* le mètre cube.

En moyenne, la salure de l'eau est de 70 à 80 *g* par litre et le prix de cette eau salée a été, en 1899, à Kalgoorlie, de 1,50 *f* à 2 *f* le mètre cube.

On conçoit, d'après cela, que le manque d'eau potable est dans ce pays une préoccupation incessante. Pour y remédier, le Gouvernement et l'initiative privée ont installé un grand nombre d'appareils distillatoires dans tous les points habités ou fréquentés

par les mineurs. L'eau obtenue par distillation coûte naturellement fort cher : son prix était, en 1899, environ 25 *f* le mètre cube à Kalgoorlie.

On apporte aussi de l'eau par chemin de fer. Ainsi, en 1897, le chemin de fer a transporté 220 000 m^3 d'eau qui coûtèrent environ 6 *f* de transport par mètre cube.

Enfin, on a lu, dans les Bulletins de la Société de novembre et avril 1901, la description de la conduite d'eau et des machines actuellement en voie d'installation pour amener à Coolgardie et à Kalgoorlie l'eau de la rivière Elena située à 600 *km* de ces villes; l'altitude de la prise d'eau est à environ 110 *m* et le réservoir de distribution à 513 *m*. Il est certain que cette canalisation, dont le prix est évalué à plus de 62 millions, ne pourra livrer l'eau qu'à un prix encore très élevé.

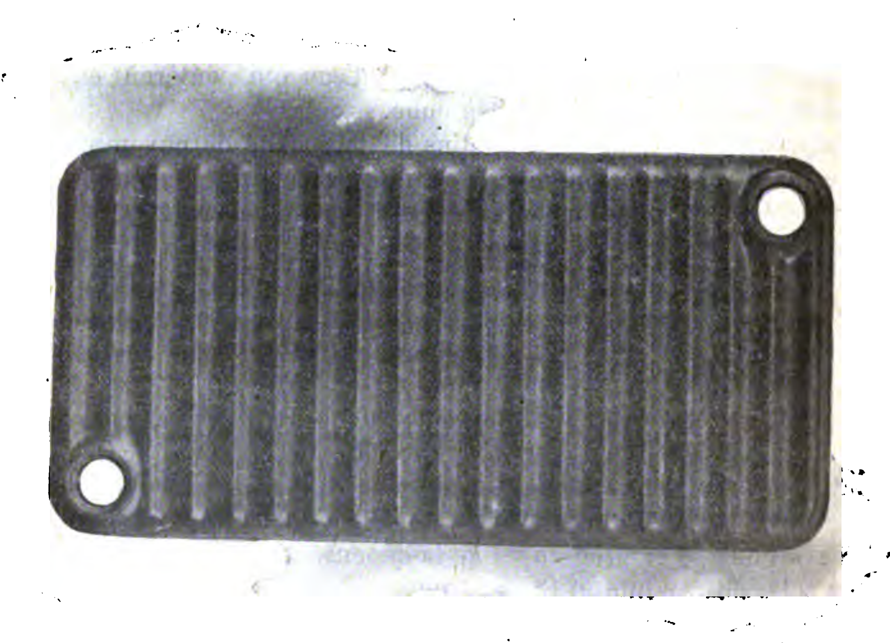
La Société électrique de Kalgoorlie a donc un intérêt considérable à récupérer intégralement les 48 000 livres d'eau que doivent vaporiser par heure ses chaudières. Elle aurait pu obtenir ce résultat au moyen des appareils construits dans le pays, mais elle avait aussi à se préoccuper de la dépense du combustible et, pour cela, MM. White et C° ont voulu obtenir le meilleur vide possible aux condenseurs afin que les machines puissent fonctionner dans les meilleures conditions.

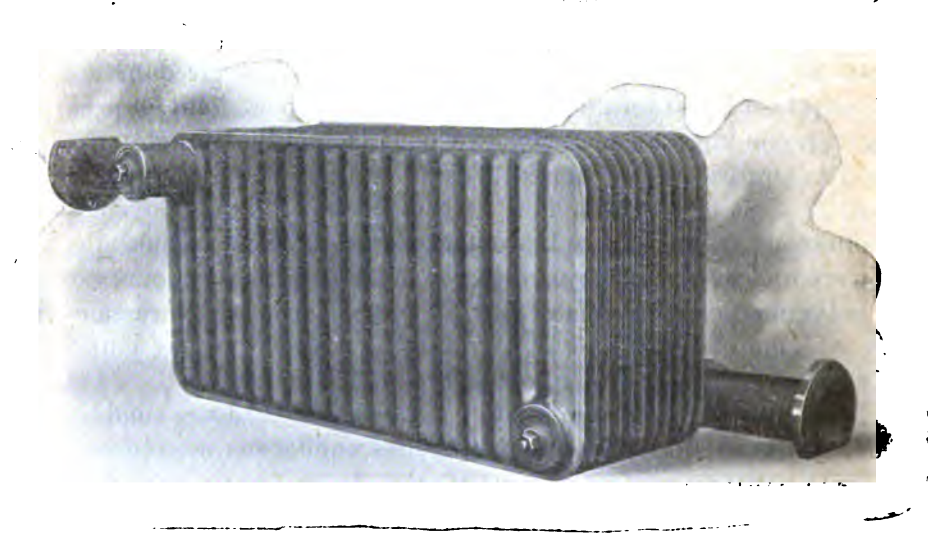
Ce résultat avait une très grande importance, car le prix du combustible est très élevé, comme on peut le prévoir dans un pays qui est à 700 *km* du littoral. Ce long transport, joint au prix du fret, conduit à un prix si élevé pour la houille d'Angleterre ou d'Australie, que son emploi n'est pour ainsi dire pas pratiqué dans la région des mines d'or. Le seul combustible employé actuellement est le bois qui provient de la forêt clairsemée qui couvre une partie du pays, mais ce combustible lui-même est relativement cher, et il faut prévoir que son prix s'élèvera sans cesse, à mesure qu'on devra exploiter des forêts placées à une plus grande distance de la voie ferrée.

La nécessité d'économiser le combustible a donc conduit MM. White et C° à prévoir, au lieu des condenseurs en usage dans le pays, un aérocondenseur capable de donner un assez bon vide.

L'aérocondenseur, que nous exécutons sur la commande de MM. White et C°, comprend vingt-sept ventilateurs à ailes en hélices de 2,20 *m* de diamètre, qui refouleront par heure 2 millions de mètres cubes d'air sur les surfaces de condensation.

Ces surfaces sont composées de tôles d'acier ondulées de 1 *mm* d'épaisseur, assemblées deux à deux par sertissage mécanique,





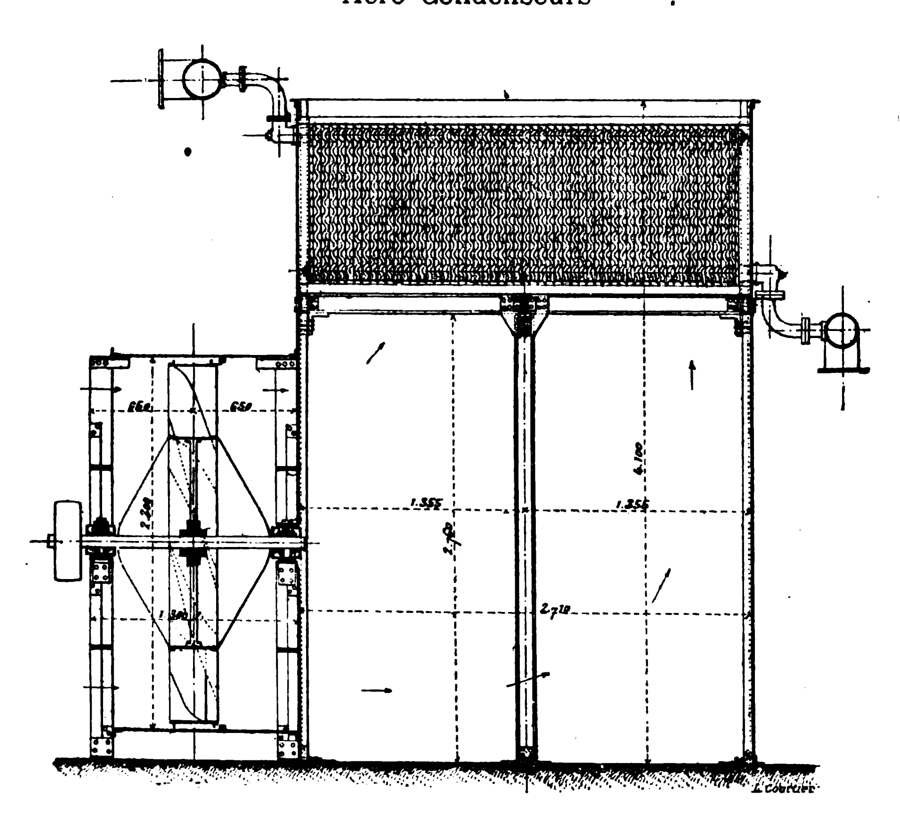
de manière à former des plaques creuses ondulées. Ces plaques sont réunies en faisceaux par des macarons jointifs, emboutis dans les plaques mêmes, en même temps que les ondulations.

Les plaques sont serrées les unes sur les autres par deux boulons qui traversent les faisceaux. La suite des macarons formée dans chaque plaque produit deux canaux de distribution ; par l'un se fait l'entrée de vapeur et par l'autre la sortie de l'eau condensée.

La figure 1 représente un ventilateur avec un faisceau de plaques creuses ondulées.

On remarquera que ces surfaces ne sont exposées à aucune dé-

Aéro-Condenseurs



térioration, car elles reçoivent à l'intérieur de l'eau légèrement grasse qui n'est pas oxydante, et à l'extérieur elles sont parcourues seulement par un courant d'air sec.

La pratique a montré que les plaques ainsi construites se conservent indéfiniment sans altération, si elles ne sont exposées ni à la gelée, ni à la pluie.

Les ventilateurs tournent seulement à 300 tours, de telle façon que leur fonctionnement ne donne lieu à aucune usure.

Installation d'Aéro-Condenseurs

Plan

Légende

- A Groupe d'Aéro Condenseurs
- B Pompes à air
- C — d° — à graisse
- D Filtres des pompes à air
- E —— d° —— à graisse
- F Séparateurs de graisse
- G Tuyau d'arrivée de vapeur
- H Aspiration de la pompe à air
- N Refoulement de la pompe à air
- M Aspiration de la pompe à graisse
- R Refoulement — d° —— d° —

Echelle 1/200

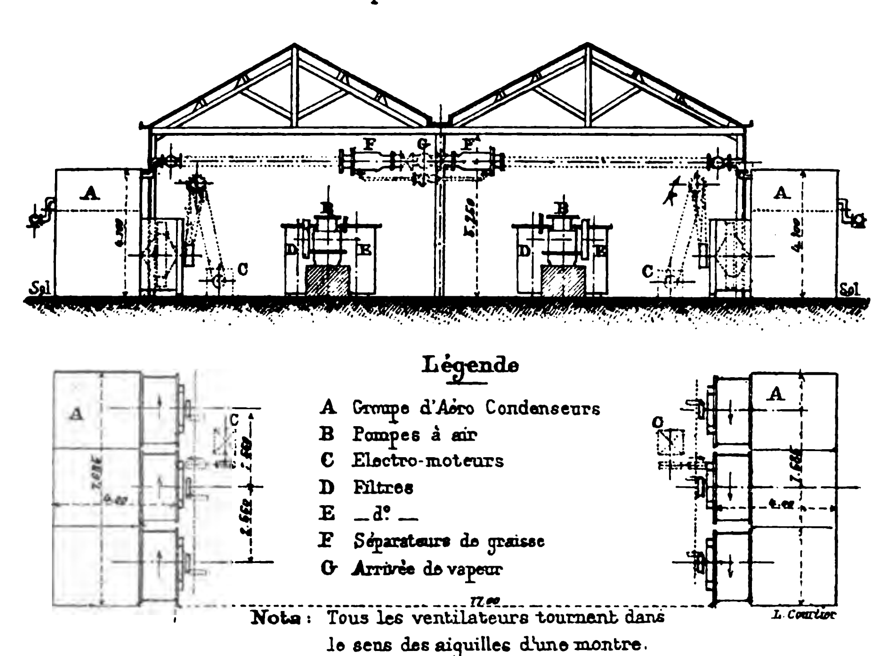
L. Courtier

L'appareil ainsi constitué n'exige donc, pour ainsi dire, aucun entretien et c'est là une considération extrêmement importante pour une installation de ce genre.

Les ventilateurs sont réunis par groupes de trois sur une même chambre d'air et les faisceaux de plaques ondulées, constitués comme nous l'avons dit, forment le plafond de cette chambre; l'air parcourt les surfaces verticalement de bas en haut; son parcours, sur les surfaces de chauffe, est de **1,10** *m*.

Bâtiment d'Aéro-Condenseurs

Coupe transversale



La vapeur pénetre à la partie supérieure de chaque faisceau, et l'eau condensée s'écoule à la partie inférieure dans la canalisation d'aspiration des pompes à air. Les figures 2 et 3 représentent en plan et en coupe l'ensemble de l'installation avec les pompes à air, les pompes d'eau grasse, les séparateurs et les filtres ainsi que la tuyauterie.

Dans cette installation, la question d'encombrement est tout à fait secondaire, car le prix du terrain n'est pas élevé; elle n'a donc pas été étudiée en vue d'occuper peu de place.

D'autre part, la température élevée de l'air dans ce pays nous a conduit à en faire circuler un grand volume et, par suite, à donner aux ventilateurs des dimensions plus considérables que nous ne le faisons ordinairement.

Pour ces deux raisons, le volume des appareils est beaucoup plus élevé que dans les installations similaires; il est de 570 m^3, soit 26 m^3 par 1 000 *kg* de vapeur condensée. Ce chiffre peut, dans d'autres conditions, être ramené à 8 m^3 par 1 000 *kg* de vapeur condensée par heure.

La vapeur des trois machines arrive par un tuyau de 60 *cm* de diamètre; elle se distribue dans neuf séparateurs d'eau grasse et, au sortir de ces appareils, elle se rend dans les faisceaux de plaques creuses. L'eau condensée dans ces plaques est extraite par trois pompes à air horizontales à clapets métalliques, qui sont disposées pour pouvoir fonctionner, au besoin, en recevant de l'eau très chaude. Trois autres pompes aspirent l'eau grasse des séparateurs.

Dans ces pompes, comme dans les pompes à air, les garnitures de caoutchouc sont supprimées à cause de la quantité de graisse que contient l'eau et aussi à cause de la température qui peut, dans certains cas, s'élever à 80 et même 90°.

Toutes les eaux recueillies par les diverses pompes sont rejetées dans deux systèmes différents de filtres : le premier groupe de filtres reçoit les eaux provenant des condenseurs; ces eaux sont presque complètement débarrassées de matière grasse et pourraient, à la grande rigueur, être employées directement à l'alimentation des chaudières; cependant elles sont soumises à une filtration méthodique dans des filtres à charbon de bois; elles sont, au sortir de ces filtres, à peu près chimiquement pures et ne contiennent qu'une quantité de matière grasse excessivement minime.

Les eaux grasses extraites des séparateurs sont généralement rejetées à l'égout après séparation de la couche de graisse qui les recouvre, dans les installations que nous faisons en Europe: mais, à Kalgoorlie, le prix élevé de l'eau a rendu nécessaire l'utilisation des 2 m^3 d'eau que peuvent fournir chaque heure les séparateurs. Pour cela, ces eaux sont soumises à une filtration prolongée et méthodique sur des filtres à charbon et l'épuration est terminée par une filtration sur des filtres à éponges.

On voit que, de cette façon, toute l'eau provenant de la con-

densation de la vapeur des machines est recueillie et rendue utilisable par l'épuration que nous avons décrite.

L'emploi des séparateurs a pour but, dans le cas présent, de faciliter l'épuration totale de l'eau en limitant à 8 ou 9 0/0 le volume d'eau très chargé de matières grasses, tandis que 90 ou 92 0/0 du volume total sont obtenus à l'état de pureté presque complète.

On peut alors faire subir à la première partie, à cause de son faible volume, une filtration très énergique et très efficace, comme nous l'avons indiqué, tandis que la partie principale ne subit, au contraire, qu'une filtration très légère.

Les séparateurs d'eau grasse, dont nous avons parlé, sont formés d'un cylindre ouvert par les deux bouts et contenant une seconde enveloppe concentrique percée de trous. Cette seconde enveloppe renferme une hélice directrice, La vapeur chargée d'eau grasse pénètre par l'axe du cylindre, elle parcourt les surfaces de l'hélice et prend un mouvement de rotation qui est d'autant plus rapide que la vitesse de la vapeur est plus grande; les gouttelettes d'eau grasse, beaucoup plus denses que le fluide dans lequel elles sont en suspension, sont projetées contre l'enveloppe perforée ou contre l'hélice directrice, elles traversent l'enveloppe perforée et sont extraites par une tubulure ouverte entre les deux enveloppes cylindriques. C'est dans cette tubulure que vient aspirer la pompe spéciale dont nous avons parlé.

La distribution de vapeur dans les groupes de surfaces de condensation et l'aspiration de l'eau condensée sont faites par des tuyaux en tôle d'acier dont le diamètre varie entre 60 *cm* sur la canalisation générale et 6 *cm* pour les tuyaux d'entrée et de sortie de chaque faisceau. Toutes ces canalisations sont disposées de façon que les appareils peuvent fonctionner avec l'une ou l'autre des pompes, ou avec deux pompes ou avec les trois.

Le travail prévu pour les vingt-sept ventilateurs et les six pompes est de 120 *ch*.

Si la dépense des machines est de 6 *kg* de vapeur par cheval, le travail absorbé par la condensation sera donc de 3 0/0 du travail fourni par les machines. Nous allons voir que le vide obtenu dans les différentes périodes de l'année correspondra à une économie beaucoup plus grande que 3 0/0.

Comme nous l'avons dit, MM. White et C°, par l'installation de l'aérocondenseur, se proposent d'obtenir deux résultats qui sont également importants.

Le premier, c'est de recueillir, sans aucune perte, toute l'eau qui a été vaporisée dans les chaudières, afin de n'avoir aucune dépense d'eau à faire pour l'alimentation des générateurs.

L'importance de ce résultat est capitale puisque, au prix où l'eau s'est payée en 1900 à Kalgoorlie, une perte de 10 0/0, c'est à dire de 2 m^3 par heure, occasionnerait en 10 heures une perte d'environ 500 *f*. Même lorsque le service d'eau de Coolgardie fonctionnera, la perte dont il s'agit restera encore importante.

Il est donc tout à fait capital, pour la Société, de n'avoir aucune perte de vapeur.

Le second résultat qu'ont recherché les Ingénieurs de la Compagnie, c'est d'obtenir le meilleur vide possible afin de faire fonctionner les machines dans des conditions économiques et de dépenser le moins possible de combustible.

Il est évident que, si cette deuxième condition est remplie, la première le sera aussi, à la condition toutefois que la filtration n'occasionne pas de perte appréciable.

Dans le traité que nous avons fait avec MM. White et C°, nous avons pris l'engagement de donner aux condenseurs un vide plus ou moins fort suivant la température de l'air, conformément au tableau ci-dessous :

Températures de l'air :	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°
Vide :	53	52	51	50	48	46	44
Températures de l'air :	24°	26°	28°	30°	32°	34°	36°
Vide :	42	40	38	35	32	28	24

D'après les renseignements que nous possédons, la moyenne des températures maxima de chaque jour a été à Kalgoorlie en 1897 :

En janvier 34°, en février 31°, en mars 29°, en avril 26°,67, en mai 21°, en juin 17°,62, en juillet 18°,22, en août 17°,72, en septembre 24°,42, en octobre 25°,82, en novembre 32°,28 et en décembre 32°,72.

Dans les mois de janvier, février, novembre et décembre, la température moyenne du jour est comprise entre 30 et 35°, dans les mois de mars, avril, septembre et octobre, elle est comprise entre 25 et 30° et, dans les mois de mai, juin, juillet et août, elle est comprise entre 18 et 21°.

Pendant la première période, on aurait donc, si les machines marchaient pendant le jour à toute leur puissance, un vide

compris entre 24 et 35 *cm* de mercure pendant les heures les plus chaudes du jour.

Pendant la seconde période, on aura un vide compris entre 35 et 42 et, pendant la troisième, un vide compris entre 42 et 48.

Pour la marche de nuit, on se trouve dans des conditions beaucoup meilleures.

Les températures minima moyennes ont été, en effet, les suivantes à Kalgoorlie en 1897 :

En janvier 18°,89, février 16°,45, mars 14°,82, avril 13°,25, mai 8°,89, juin 8°,40, juillet 6°,20, août 6°,20, septembre 9°,32, octobre 11°, novembre 15°, décembre 16°,05.

La température minima moyenne est donc, pendant les mois de janvier, février, mars, avril, novembre et décembre, comprise entre 19° et 13° et le vide correspondant sera à pleine charge compris entre 48 et 52 *cm*. Pendant les six autres mois, la température minima des nuits varie de 6° à 11° et le vide à pleine charge sera compris entre 52 et 55.

On remarquera que c'est seulement pendant la nuit que les machines marcheront en pleine charge ou du moins pendant quelques heures de la nuit, puisque l'on doit employer à l'éclairage une partie du courant électrique qu'elles fournissent. Au contraire, pendant le jour, les machines seront plus ou moins loin de la marche à pleine charge et, par suite, les vides indiqués ci-dessus pour la marche de jour seront toujours dépassés.

En résumé, et sans tenir compte de la remarque que nous venons de faire, on voit que le vide moyen sera à peu près 40 *cm* pendant le jour et 52 *cm* pendant la nuit d'après les engagements que nous avons pris.

Nous espérons dépasser largement ces résultats dans les essais qui vont être faits dans le courant de ce mois: nous n'estimerons pas l'économie de vapeur qui peut résulter de la marche à condensation dans les conditions que nous venons d'indiquer, mais nous pensons qu'elle justifiera de la façon la plus complète l'installation de ce condenseur.

D'ailleurs, nous avons déjà fait, dans le même pays, une dizaine d'installations similaires pour machines de 50 à 200 *ch* et les résultats ont absolument répondu à ce que l'on en attendait.

LES USINES ÉLECTRIQUES

DU

CHEMIN DE FER DU FAYET A CHAMONIX

PAR

M. E. JAVAUX

La nouvelle ligne que la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée vient d'ouvrir du Fayet-Saint-Gervais à Chamonix est une des plus intéressantes applications européennes de la traction électrique.

Son tracé comporte de très fortes déclivités, une de 90 *mm* par mètre sur 2144 *m* de long et une deuxième de 80 *mm* sur 1386 *m*. La traction s'y fait par simple adhérence au moyen de voitures automotrices, circulant ordinairement par trains, mais pouvant aussi circuler isolément.

M. Baudry, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée a décrit, dans le *Bulletin* d'avril 1900 de la Société des Ingénieurs Civils de France, l'ingénieux mécanisme, au moyen duquel un seul agent commande de la tête du train les appareils électriques de toutes les voitures automotrices qui le composent. Il a donné en même temps, sur les conditions générales de construction de la ligne et de son matériel roulant, quelques indications auxquelles nous empruntons les renseignements suivants, avant de décrire les appareils électriques des usines qui forment l'objet spécial de la présente note.

Cette application de l'électricité a été étudiée entièrement par M. Auvert, Ingénieur du Matériel de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, sous la haute direction de M. Baudry, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction, et de M. Maréchal, Ingénieur en chef du Matériel. Les difficultés qu'il a fallu surmonter et les résultats obtenus font le plus grand honneur à tout le personnel de la Compagnie, qui a collaboré à cette entreprise.

La voie est constituée sur toute sa longueur par trois rails, dont un sert pour la prise de courant; en outre, dans les fortes pentes, on a disposé dans l'axe de la voie un quatrième rail, sur lequel peut agir un frein à mâchoires.

Les voitures à couloir central comportent, suivant la classe,

32 ou 36 places; chaque train montant comprend quatre voitures à voyageurs et un fourgon de tête pour les bagages et la cabine du mécanicien; toutes les voitures sont motrices et portent deux moteurs attaquant les essieux par pignons coniques; chaque voiture porte les appareils de mise en marche permettant de la faire manœuvrer séparément, mais tous ces appareils sont commandés normalement depuis la cabine du fourgon par le servo-moteur pneumatique Auvert, décrit dans le *Bulletin* d'avril 1900.

Chaque voiture comporte un frein à sabots et le frein à mâchoires, dont il a été parlé plus haut; ces freins peuvent être commandés, soit à la main sur chaque voiture, soit simultanément depuis la cabine du mécanicien, au moyen de l'air comprimé. La commande par l'air comprimé du frein à sabots est double, automatique et modérable, celle du frein à mâchoires est automatique seulement, les deux étant obtenues au moyen des appareils Westinghouse.

L'air sous pression nécessaire pour le servo-moteur de mise en marche et la commande des freins est fourni par un compresseur, disposé dans le fourgon et mû par un moteur électrique de 8 à 10 *ch*; le dispositif de mise en marche et d'arrêt de ce compresseur permet de maintenir automatiquement constante la pression dans les réservoirs.

Un train complet de 5 voitures y compris le fourgon, soit 10 moteurs en fonction, marchant à 12 *km* à l'heure, absorbe, dans la rampe de 90 *mm*, 800 ampères sous 550 volts; le démarrage dans la même rampe demande 1 100 ampères environ.

La durée du trajet en comptant les arrêts est d'une heure environ, la longueur de la ligne étant de 19 *km*. A la descente la vitesse est limitée à 10 *km* sur les rampes de 80 et 90 *mm*.

Deux stations génératrices situées l'une à proximité de la voie à quelque distance du hameau du Chatelard, l'autre aux Chavants, fournissent le courant continu nécessaire.

Ces deux usines sont hydrauliques; la puissance motrice est fournie par deux dérivations de l'Arve.

Chacune des usines comprend quatre groupes électrogènes de 325 *ch* chaque, et deux petits groupes de chacun 40 kilowatts, pour l'excitation des grosses machines et l'éclairage des usines. Toutes les machines électriques ont été fournies par la Société Gramme.

Les quatre dynamos génératrices Gramme de la station du Chatelard peuvent débiter d'une façon continue 370 ampères sous

550 volts, et supporter pendant une heure un courant de 450 ampères, sans que la température d'aucune des parties dépasse de 35° la température ambiante.

Ces dynamos sont à 6 pôles avec induit en tambour et excitation composée; un premier bobinage alimenté par l'excitation indépendante à 110 volts permet d'obtenir à vide 550 volts, à la vitesse de 615 tours. Un deuxième bobinage parcouru par le courant total maintient constante cette tension de 550 volts de la marche à vide à la pleine charge, la vitesse dans ce cas n'étant plus que de 470 tours, ces dynamos sont donc hypercompoundées. Elles sont actionnées, par l'intermédiaire d'un manchon élastique isolant, par des turbines centripètes sans régulateur à axe horizontal fonctionnant sous 38 *m* de chute environ.

L'enroulement induit en tambour comporte 224 barres et autant de rainures que de barres.

Nous résumons ci-dessous quelques données caractéristiques de ces machines :

Diamètre extérieur de l'induit.	851 *mm*
Nombre de segments du collecteur . .	336
Induction dans le fer induit : à vide . .	10 800 gauss.
— — — en charge	14 000 —
Induction dans l'entrefer : à vide . . .	6 950 —
— — — en charge	9 100 —
Induction dans les dents : à vide . . .	14 900 —
— — en charge. .	19 400 —

Les essais de rendement ont donné les résultats suivants, après une marche continue de six heures en pleine charge :

Perte par effet Joule dans l'induit et le collecteur	3.559 watts.
Perte par effet Joule dans l'enroulement inducteur en série	985 —
Perte par effet Joule dans l'enroulement inducteur indépendant . . .	1.028 —
Perte par hystérésis, courants de Foucault, et frottements	9.554 —
PERTES TOTALES	15.146 watts.

Rendement industriel $\frac{370 \times 550}{370 \times 550 + 15\,146} = 93\ 0/0.$

Les quatre génératrices Gramme de l'usine des Chavants sont

de construction identique, les données électriques seules changent et sont les suivantes :

Ampères.	Volts.	Vitesse.	
290	700	460	en régime normal.
0	550	550	
350	700		

pendant une heure, sans que la température d'aucune des parties dépasse de 35° la température ambiante.

La tension de 700 volts a été choisie dans ce cas pour compenser la perte dans les feeders, leurs points de raccordement avec la voie étant assez éloignés de l'usine.

Les turbines centrifuges qui actionnent ces dynamos fonctionnent sous 94 *m* de chute ; elles ne comportent également aucun régulateur.

A cause des variations brusques de courant, produites par l'arrêt et le démarrage des trains, les génératrices ont été établies pour fonctionner de la charge maxima à la marche à vide sans étincelles et sans décalage des balais, même dans le cas où plusieurs trains démarrant ensemble absorbent un courant anormal, ou qu'un court-circuit accidentel sur la voie fait sauter les disjoncteurs à l'usine.

Pour obtenir un fonctionnement satisfaisant dans ces conditions, il était indispensable d'employer des collecteurs avec un grand nombre de segments ; pour cela, on a adopté le bobinage ondulé en série avec connexions spéciales permettant de tripler le nombre de segments au collecteur. La différence de potentiel entre deux lames se trouve ainsi réduite au tiers; la self-induction de la spire, mise en court-circuit par les balais, se trouve réduite dans la même proportion, ce qui permet d'effectuer la commutation sans étincelles à toutes les charges avec un calage fixe des balais.

Les induits sont constitués par des tôles isolées au papier, avec trois fentes de ventilation ; les conducteurs logés dans des entailles à moitié fermées sont isolés individuellement, au moyen de tubes en micanite, pouvant résister à des tensions très élevées; les barres sont groupées convenablement par des séries de développantes maintenues du côté arrière par un faux collecteur ; de solides frettes posées sur les extrémités préviennent le soulèvement éventuel des barres et évitent toute fatigue aux soudures des développantes avec les collecteurs.

Les précautions prises assurent aux induits une solidité exceptionnelle, indispensable pour résister aux variations brusques et fréquentes de la charge.

Les inducteurs en acier doux sont à pôles radiaux; les noyaux ne comportent pas d'épanouissements polaires, mais la longueur de l'entrefer est augmentée vers les arêtes pour rendre plus progressive l'entrée des conducteurs dans le champ. Les noyaux inducteurs sont fendus presque entièrement dans le sens longitudinal, afin de créer une reluctance considérable au passage des flux transversaux, ce qui contribue à la fixité du calage des balais.

A cause de l'humidité des salles de machines, les plus grandes précautions ont été prises pour l'isolement; le socle est monté sur des isolateurs en porcelaine renversés, noyés dans le sol; enfin l'emploi de l'excitation indépendante à 110 volts de préférence à l'excitation en dérivation augmente encore la sécurité.

Les excitatrices Gramme, au nombre de deux par usine, sont d'une puissance de 40 kilowatts à 520 tours; elles sont également actionnées chacune par une turbine spéciale au moyen d'un manchon élastique isolant. Elles peuvent débiter d'une façon continue un courant de 330 ampères sous 120 volts. L'induit est à tambour denté avec bobinage imbriqué ordinaire; l'excitation est en dérivation. Le fonctionnement a lieu sans étincelles à toutes les charges avec calage fixe des balais.

Le diamètre de l'induit est de 546 *mm*.

Les inductions, dans les différentes parties du circuit magnétique, sont les suivantes :

Induction dans l'induit . . .	14 000	gauss.
— dans les dents . .	18 100	—
— dans l'entrefer . .	10 900	—
— dans les inducteurs	13 900	—

Les essais de rendement ont donné les résultats suivants :

Perte par effet Joule dans l'inducteur le collecteur.	918	watts.
Perte par effet Joule dans l'inducteur dérivation	626	—
Perte par hystérésis, courants de Foucault, et frottements	3 056	—
Pertes totales	4 600	watts.

$$\text{Rendement industriel } \frac{39\,600}{39\,600 + 4\,600} = 89{,}5\ 0/0.$$

La carcasse magnétique à 4 pôles est fixée sur un socle en fonte porté par des isolateurs en porcelaine.

En service normal, il y a en marche, dans chaque usine, trois machines de 325 chevaux et une excitatrice, les deux autres servant de rechanges.

Les deux stations sont couplées directement en parallèle par les conducteurs de la voie, sans qu'il en soit jamais résulté d'inconvénients, malgré l'enroulement compound et les fortes variations de la charge.

Le tableau de traction de chacune des usines est composé de sept panneaux en marbre, un pour chaque dynamo, et un pour le départ des feeders; ces panneaux comportent, pour chaque dynamo de 325 *ch*, un ampèremètre, un voltmètre, un disjoncteur automatique à maxima, des interrupteurs à main et un rhéostat d'excitation.

Un voltmètre monté sur charnière à l'un des coins du tableau indique le voltage aux points de raccordement des feeders avec la voie.

LES CONJONCTEURS-DISJONCTEURS

EMPLOYÉS EN ÉLECTRICITÉ

pour la charge des accumulateurs ou la mise en parallèle de machines dynamos

PAR

M. G. FIÉVÉ

Tous les constructeurs s'occupant des divers appareils établissant les communications entre les machines électriques et les accumulateurs, ou pour l'accouplement en parallèles de machines électriques, savent combien ces manœuvres sont difficiles lorsqu'elles doivent être automatiques — et les industriels possédant des installations où ces appareils existent, en connaissent bien mieux encore tous les inconvénients, soit que la conjonction se fasse trop vite et la disjonction trop tard, soit l'inverse.

La disposition nouvelle de l'appareil que je vous présente permet d'opérer la conjonction comme la disjonction entre une dynamo et une batterie d'accumulateurs, quel que soit le nombre de ceux-ci mis en charge et lorsque l'intensité circulant entre les accumulateurs et la dynamo est nulle ou à peu près.

Comme il ne m'était pas possible, ce soir, de vous le démontrer pratiquement, je m'étais réservé la journée de demain, au cas où quelques personnes d'entre vous, que ces appareils intéressent spécialement, auraient désiré en étudier le fonctionnement. Mais un accident survenu cet après-midi, a mis l'appareil complètement hors de service. L'appareil que je vous présente est d'un très gros modèle, il est construit pour 250 ampères, malgré cela il fonctionnera parfaitement bien pour quelques ampères seulement.

Jusqu'à présent, les appareils en usage devaient être réglés pour conjoindre ou disjoindre à un voltage fixe, il en résultait que : si le nombre des accumulateurs en charge donnait plus ou moins de voltage que celui prévu pour le réglage de l'appareil, celui-ci fonctionnerait trop tôt ou trop tard.

S'il fonctionnait trop tôt, c'est-à-dire si la dynamo ayant un voltage inférieur à celui des accumulateurs, le courant de ceux-ci revenait dans la dynamo, le conjoncteur, par suite d'attrac-

tions et de répulsions successives, était soumis à une série de tremblements accompagnés d'étincelles, jusqu'à ce que la dynamo ait pris plus de voltage.

Si, au contraire, l'appareil fonctionnait trop tard, l'intensité subite résultant de la forte différence de force électromotrice existant entre les accumulateurs et la dynamo chargeait brusquement celle-ci et ralentissait sa vitesse, d'où inconvénients multiples tels que : brusque débit sur les accumulateurs, production d'étincelles aux balais, chute de courroie, etc.

A la disjonction, les mêmes effets se reproduisaient avec cet autre désavantage que, la disjonction se faisant lorsqu'une forte intensité circulait encore, la rupture se produisait avec une étincelle ou plutôt un arc volatilisant le mercure ou brûlant les contacts.

Pour que les mouvements d'un conjoncteur se fassent, en évitant les défectuosités de fonctionnement que je viens de signaler, il faut que ces mouvements ne se produisent que lorsqu'une faible différence de potentiel existe entre les accumulateurs et la dynamo, puisqu'ils ne doivent se faire, théoriquement, que lorsque les deux forces électromotrices sont égales entre elles.

En outre, comme le nombre et la force électromotrice des accumulateurs à charger sont le plus souvent variables, l'appareil doit être dépendant de la force électromotrice de ceux-ci et commandé par elle.

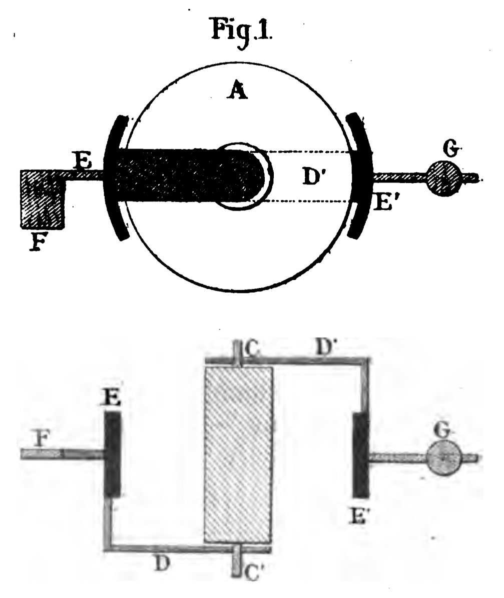
La difficulté principale consistait donc à produire avec sûreté la conjonction et la disjonction avec la plus faible différence de potentiel possible. Cette difficulté a été tournée par un dispositif qui constitue la partie originale de l'appareil : un enroulement en fil moyen pouvant supporter pendant un certain temps un courant d'une intensité suffisante pour donner quelques watts avec une faible force électromotrice et mis en court circuit ou coupé (suivant qu'il s'agit de conjonction ou de disjonction) lorsque cette force électromotrice s'élève et peut rendre dangereuse l'intensité passant dans l'enroulement de ce fil.

Pour résoudre pratiquement le problème dont je vous parle, l'appareil que je vous présente a été établi ainsi *(fig. 1)* :

Il se compose : 1° d'une bobine creuse horizontale A, au centre de laquelle un noyau en fer doux B peut osciller entre deux pivots CC'. Ce noyau porte à chacune de ses extrémités un bras; les deux bras DD' sont fixés sur ledit noyau en sens opposé l'un de l'autre, l'un en avant, l'autre en arrière de la bobine, en lon-

geant ses joues; ils se recourbent ensuite contre la surface extérieure de la bobine et se terminent par deux appendices polaires EE′ cintrés en quart de cercle : noyau, bras et appendices constituent une armature en forme d'S embrassant la bobine.

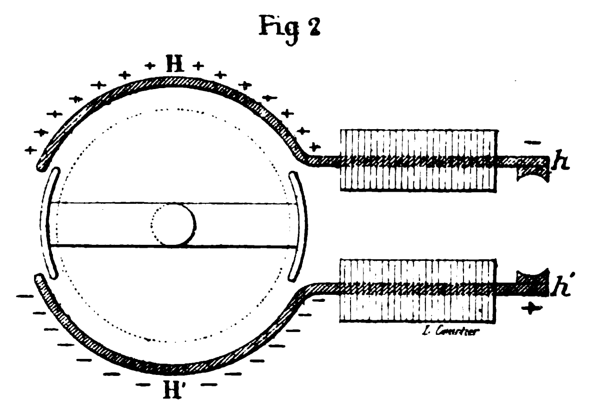
Fig.1.



D'un côté, la pièce de conjonction F plongeant dans les godets à mercure; de l'autre, un contre-poids G. Ce système oscillant forme la partie conjonctive de l'appareil;

2° Deux électro-aimants droits fixes (*fig. 2*) HH′, dont un des

Fig 2



pôles est cintré en quart de cercle, chacun de ces pôles magnétisés + et —, embrassant la bobine circulaire, l'un en dessus, l'autre en dessous, ainsi que les appendices polaires de l'arma-

ture que je viens de vous décrire. Chaque appendice polaire est en regard de chacun des pôles + et — des électro-aimants fixes et peut osciller de l'un à l'autre, de même que chaque pôle + et — des électro-aimants est en regard des deux appendices polaires; l'équipage mobile ou partie conjonctive est donc soumis à deux effets d'attraction et deux effets de répulsion de la part des électro-aimants, les deux autres pôles *hh'* des électro-aimants sont utilisés pour une fonction auxiliaire que je vous expliquerai tout à l'heure.

La grosse bobine A est enroulée : 1° de quelques tours de gros fil, en série sur le circuit de charge lorsque la conjonction est établie; 2° d'un fil d'un diamètre moyen de 6 à 8/10 suivant les appareils, pris en dérivation sur les augets, en série, par conséquent sur le circuit principal, lorsque ce circuit est ouvert; en dérivation sur le gros fil lorsque la conjonction est faite.

Ce fil est prévu d'une résistance de 10 ohms environ, capable, par suite, de supporter — mais pendant un certain temps seulement — un courant à la tension de 40 à 50 volts. Cet enroulement peut être appelé « enroulement moyen » pour le distinguer des autres.

Les deux électro-aimants HH' sont enroulés d'un fil de 18/100 pris aux bornes de la dynamo ayant une résistance totale d'environ 3000 ohms, et devant supporter d'une façon continue un courant émis à la tension de 170 à 180 volts.

Vous avez donc l'explication des principaux organes de conjonction. Je vais maintenant vous en indiquer le fonctionnement.

Supposons une batterie de 60 accumulateurs ayant 20 éléments de réduction. Cette batterie devra pouvoir être connectée avec une dynamo dans les limites comprises entre la totalité des éléments entièrement chargés, soit $60 \times 2{,}5$ volts $= 150$ volts et 40 éléments seulement entièrement déchargés, soit $40 \times 1{,}7$ volt $= 68$ volts.

L'appareil devra donc faire la conjonction comme la disjonction soit aux environs de 68 volts, soit vers 150 volts, soit dans toute l'échelle comprise entre ces deux voltages, suivant le nombre et la tension des éléments mis en charge.

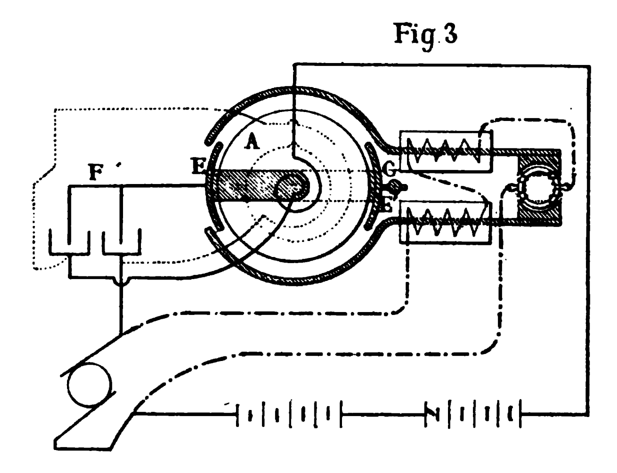
Sans nous occuper pour l'instant des parties complémentaires de l'appareil, sur lesquelles nous reviendrons tout à l'heure, voyons comment fonctionne la partie conjonctive. Le courant des accumulateurs passe par l'enroulement moyen de la grosse

bobine A, lequel est alors en série sur le circuit principal, shuntant ainsi les deux augets *(fig. 3)*.

L'armature de cette bobine est polarisée nord à un des appendices polaires, et sud à l'autre.

Le contrepoids Gr du système oscillant est calculé pour que son poids prédomine *très légèrement*, de façon à maintenir la disjonction par lui-même. Les appendices polaires EE' polarisent par leur aimantation, les pôles, inactifs momentanément, des

Fig. 3



électro-aimants, lesquels complètent seulement le circuit magnétique de l'armature et sont attirés par eux, l'un en haut, l'autre en bas; l'armature n'a par conséquent aucune tendance à changer de position.

Lorsque la dynamo est mise en route, elle s'amorce et augmente peu à peu son voltage; elle diminue, d'une part, par sa force électro-motrice opposée à celle des accumulateurs, le flux magnétique produit par la grosse bobine A; d'autre part, elle polarise les électro-aimants dont l'enroulement est pris aux bornes de la dynamo dans un sens tel que la disjonction persiste tant que le voltage de la dynamo est inférieur à celui de la batterie en charge.

Mais lorsque la dynamo a surpassé de quelques volts la force électro-motrice des accumulateurs le sens du courant est renversé dans l'enroulement moyen de la grosse bobine A, et comme cet enroulement est calculé pour donner environ 1 watt par volt et que le système oscillant est presque en équilibre, la conjonction se produit dès que la dynamo a élevé son voltage de 3 à 4 volts seulement au-dessus de celui de la batterie en charge.

Lorsque la conjonction est faite, l'enroulement moyen en dérivation sur les augets est mis en court circuit et son effet est remplacé par celui de l'enroulement en gros fil.

Or donc, que la conjonction doive se produire à 68 volts ou à 150 volts, elle ne pourra se faire que lorsque la dynamo aura dépassé de 3 à 4 volts les 68 ou les 150 volts ou telle force électro-motrice entre ces limites que donneront les accumulateurs.

La disjonction se produira de même avec cette différence qu'elle pourra se faire avec une intensité en circulation absolument nulle, parce que l'excédent de poids du contrepoids de l'équipage mobile aide à cette disjonction. Il supprime l'effet du retard causé par la self-induction de la grosse bobine A, tandis que cet excédent demande pour la conjonction un travail de quelques watts.

Il me reste maintenant à vous faire connaître les dispositions spéciales qui complètent cette appareil.

Ces dispositions sont nécessitées par les considérations suivantes :

L'enroulement moyen de la grosse bobine A a été supposé dans l'explication que je vous ai donnée comme étant mis directement aux augets ; si les accumulateurs, quand ils ne sont pas en charge, n'étaient pas coupés de la dynamo par un moyen quelconque, cet enroulement resterait constamment en circuit, il ne pourrait supporter d'une façon permanente, sans s'échauffer, le courant débité des accumulateurs sur la dynamo et de plus il y aurait consommation de courant.

En second lieu, le mouvement du levier conjoncteur devant être aussi mobile que possible, et presque en équilibre, pour agir avec le moindre travail, le contre-poids est calculé pour maintenir, *légèrement seulement*, au repos la disjonction, laquelle, dans ce cas, n'est pas suffisamment sûre. C'est là où la partie auxiliaire *(fig. 4)* joue un rôle important.

Les pôles non utilisés, jusqu'à ce moment, des électro-aimants sont terminés par deux masses polaires *hh'* entre lesquelles est placée une armature I en forme d'anneau allongé formé par un tube de fer sur lequel deux enroulements en fil fin, mis en série avec celui des électro-aimants, tendent à former deux pôles à points conséquents de noms contraires à ceux des masses polaires opposées.

Armature et masses polaires forment la culasse des électro-

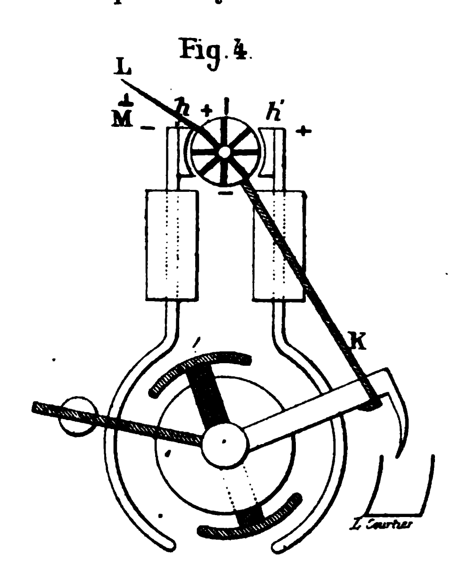
aimants droits qui deviennent ainsi un seul électro en fer à cheval, dont l'équipage oscillant de la partie conjonctive est la véritable armature.

Il y a lieu de vous faire remarquer que l'ensemble des pièces polarisées, armature de la partie conjonctive, électro-aimants, armature de la partie auxiliaire forment un circuit magnétique complet dans toutes les positions et malgré les inversions du courant.

Je reviens à la partie auxiliaire.

L'armature I porte un levier K et une lame ressort L, venant faire contact sur un point M ou isolée d'elle, suivant la position de ladite armature.

Lorsque la dynamo est mise en route et qu'elle atteint un voltage déterminé que nous supposerons de 50 volts, l'électro-aimant ainsi que l'anneau sont influencés; en face des pôles + et — de l'électro-aimant se développent les pôles opposés — et + de l'armature, laquelle est attirée. Cette attraction a été utilisée pour produire les deux effets suivants : 1° Maintenir la disjonction lorsque l'appareil est au repos, soit par un contrepoids fixé sur le levier K, dont la pesanteur, agissant sur le levier de l'équipage mobile, en assure la position, soit (comme il existe dans ce modèle) *par un enclanchement du levier de l'armature avec celui dudit équipage mobile.*



2° Mettre en circuit ou hors circuit l'enroulement moyen de la grosse bobine A, lequel enroulement, comme je l'ait dit, n'est pas prévu pour rester constamment en circuit. Cet effet est réalisé par le ressort de contact L et la pointe de platine M, lesquels pourraient être remplacés, si on le désirait, par une pointe trempant dans un godet à mercure.

Il est aisé de comprendre que, lorsque l'armature est attirée, son levier cesse de peser sur l'équipage mobile ou le déclenche, ce qui le laisse presque en équilibre.

D'autre part, le ressort L vient faire contact sur la pointe M mettant l'enroulement en circuit. Après la disjonction, lorsque la dynamo se ralentit et que son voltage baisse au-dessous de 50 volts, l'armature n'étant plus suffisamment attirée retombe, la partie conjonctive est fixée à sa position de repos et l'enroulement moyen de la grosse bobine A est mis hors circuit.

Lorsque le circuit est rompu, comme dans le modèle présent, il faut éviter l'étincelle produite par l'extra courant de rupture; pour arriver à ce résultat, l'enroulement moyen est constitué par deux fils de même longueur, mais de diamètres différents, n'ayant par conséquent pas la même self-induction. En outre, des bandes de papier d'étain sont enroulées entre les couches de fils et tendent à diminuer la force électromotrice de self-induction.

Je vous ai dit que l'armature de la partie auxiliaire était formée d'un tube allongé ayant deux enroulements formant deux pôles à points conséquents; nous avons fait une autre armature ayant la forme d'un anneau denté allongé formé par un tube de fer rainé entre les dents duquel on enroulè le fil mis en série avec celui des électro-aimants.

Cette forme devra être choisie de préférence pour que le mouvement d'oscillation ne produise pas de changement dans l'entrefer, entre l'armature et les pôles de l'électro-aimant, afin d'éviter les effets de rémanence qui causeraient des retards dans les mouvements de cette armature.

Le fonctionnement de l'appareil avec l'armature à pôles conséquents sera très bon; mais il est probable que, à la mise en marche, si le levier se lève à 50 volts, il retombera, lors de l'arrêt, avec un léger retard dû à la rémanence, ce qui n'existe pas avec l'armature dentée.

Outre que l'avantage de l'appareil en question est de faire une conjonction comme une disjonction normales, lorsque les deux forces électromotrices d'une dynamo et d'une batterie d'accumulateurs sont presque en équilibre, il en présente un autre, lequel est de se refuser à opérer la conjonction d'une dynamo avec des accumulateurs dont les courants circuleraient dans le même sens.

Il est à remarquer, en effet, que les deux enroulements principaux, l'enroulement moyen et celui en fil fin sont, l'un en série entre la dynamo et la batterie, et l'autre en dérivation sur la dynamo *(fig. 3)*. Si donc la dynamo, après s'être amorcée, met en circuit l'enroulement moyen de la grosse bobine A (en

série), le courant de la batterie et celui de la dynamo étant dans le même sens, les deux forces électromotrices s'ajoutent : il ne passera plus dans l'enroulement en fil fin en dérivation, qu'un courant très faible résultant de la différence de force électromotrice pouvant exister entre la dynamo et les accumulateurs, le levier de l'armature auxiliaire qui met en circuit l'enroulement moyen ne se lèvera pas, mais à supposer qu'il se soit levé, il retombera à ce moment et maintiendra énergiquement la disjonction.

D'autre part, un courant énergique résultant des deux forces électromotrices en tension de la dynamo et des accumulateurs, passera dans l'enroulement moyen : ce courant assure également la disjonction, mais il échaufferait rapidement le fil et le brûlerait si un coupe-circuit établi en prévision ne venait couper le courant avant tout échauffement anormal.

J'aurai terminé, Messieurs, en vous résumant les avantages de ce conjoncteur-disjoncteur :

1° L'appareil ne fonctionne pas si le courant de la dynamo n'est pas dans un sens opposé à celui des accumulateurs;

2° La conjonction se fait dès que la tension de la dynamo est légèrement supérieure à celle des accumulateurs, quels que soient le nombre et la tension de ceux-ci ;

3° La disjonction peut se faire presque exactement au moment où les deux forces électromotrices de la dynamo et des accumulateurs se contrebalancent et où il ne passe, par conséquent, aucun courant appréciable, d'où suppression de l'étincelle de rupture ;

4° La disjonction est assurée *d'abord par une inversion de polarités*, ensuite soit par la pesanteur, soit par un enclenchement du levier conjoncteur ;

5° L'appareil peut, bien entendu, être utilisé pour le couplage en parallèle de deux dynamos;

6° Au repos, aucun courant ne passe dans l'appareil.

CHRONIQUE

N° 262.

SOMMAIRE. — Réunion de la Société suisse des Ingénieurs et Architectes à Fribourg. — Thomas Curtis Clarke. — Moteur agissant par l'expansion et la contraction d'un liquide. — Beau de Rochas et les moteurs thermiques.

Réunion de la Société suisse des Ingénieurs et Architectes à Fribourg. — La Société suisse des Ingénieurs et Architectes avait cette année sa réunion générale à Fribourg; c'était sa trente-neuvième; la précédente s'était tenue en 1899 à Winterthur (Voir Chronique de novembre 1899, p. 702).

La Société des Ingénieurs Civils de France ayant été invitée comme d'habitude à se faire représenter à cette solennité, M. le Président Baudry avait désigné pour y assister MM. de Dax et A. Mallet qui se trouvaient de passage en Suisse à ce moment.

Le rendez-vous était le 24 août à 5 heures du soir à l'Hotel Terminus de Fribourg où se firent les présentations, distributions de cartes et d'albums de fête, etc. Les délégués de notre Société furent reçus avec la plus grande cordialité par le Président central, M. Geiser, architecte de la ville de Zürich, le Président local, M. Gremaud, ingénieur en chef du canton de Fribourg, le Secrétaire, M. Broillet, et les membres du Comité. Ils eurent le plaisir de retrouver un certain nombre de membres de la Société suisse qu'ils avaient eu l'occasion de voir précédemment, soit en Suisse, soit à Paris à l'Exposition et dans les réceptions faites dans notre hôtel à cette occasion. Il s'est tenu ensuite une séance dans laquelle ont été traitées les affaires intérieures de la Société, comptes, renouvellement du Comité, etc.; elle s'est terminée par une conférence de M. le professeur de Tetmayer sur les nouvelles normes qu'il a élaborées avec la Société suisse des fabricants de chaux et ciments pour la classification et les essais de ces matériaux.

La soirée s'est achevée par une réunion familière qui s'est prolongée fort tard et a été égayée par des chants et de la musique entremêlés de toasts et de discours dont le succès parait avoir été grand à en juger par les tonnerres d'applaudissements dont les échos affaiblis ont encore pu arriver aux oreilles des habitants de l'hôtel dormant ou essayant de dormir depuis plusieurs heures.

Le dimanche 26, la séance plénière s'est ouverte à 9 heures du matin dans la salle du Grand-Conseil, à l'Hôtel de Ville. Elle a débuté par un discours d'ouverture plein d'intérêt et fortement documenté de M. le Président local A. Gremaud sur les travaux publics du canton de Fribourg suivi de la présentation par M. le Président Geiser du rapport

du Comité central de la Société (1). Puis on a ouvert la discussion sur le rapport présenté la veille par M. le professeur de Tetmayer sur la classification et les essais des chaux et ciments. On ne trouvera pas ici le résumé de la discussion par la raison que l'auteur de ce compte rendu, peu capable d'apprécier la valeur d'arguments présentés le plus souvent en allemand, a d'abord laissé distraire son attention par la contemplation des boiseries et vitraux anciens qui décorent la salle de réunion; puis, profitant de la proximité de la porte il a cru pouvoir employer plus agréablement son temps à l'examen des nombreux plans, dessins, photographies et modèles exposés dans la salle d'attente du Grand-Conseil. Parmi ces dessins figuraient ceux de la consolidation des ponts suspendus de Fribourg. Le grand pont, construit en 1835 par l'ingénieur français Chaley, a, comme on sait, 246 *m* de portée et son tablier est à 51 *m* au-dessus du niveau de la Sarine. Il a été consolidé en 1881 par l'addition de câbles supplémentaires qui ont permis de porter la surcharge de 100 à 200 *kg* par mètre carré de surface de tablier. Ces travaux ont coûté 190.000 *f*. Nous renverrons pour leur détail à la Chronique d'août 1881, page 152. Le pont du Gotteron a 151 *m* de longueur et son tablier est à 75 *m* au-dessus du niveau de la rivière. Construit en 1837, il a été en 1895 l'objet d'une consolidation analogue, qui a couté 75.000 *f*.

On voyait dans la même salle des dessins relatifs à divers projets élaborés avant la construction du grand pont, entre autres un du colonel (depuis général) Dufour. Ce projet comportait deux travées avec une pile intermédiaire en maçonnerie, chacune formée de poutres avec câbles de suspension en dessous, du système appliqué par cet éminent ingénieur, au pont des Bergues à Genève vers 1830.

Après un consciencieux examen de ces documents techniques d'un haut intérêt, l'auteur a cru pouvoir donner un coup d'œil aux deux bas-reliefs qui ornent la galerie couverte de la façade de l'Hôtel de Ville et dont l'un représente la bataille de Morat et l'autre Nicolas de Flue à la diète de Stans. Puis au moment où il contemplait du haut de l'escalier monumental le vénérable tilleul issu, dit la légende, de la branche rapportée avec la nouvelle de la défaite des Bourguignons par le jeune fribourgeois venant de Morat (22 *km*) et tombant mort d'épuisement en arrivant sur la place, il se laissa entraîner par quelques confrères de la Suisse Romande, en rupture de séance comme lui, à aller visiter le Musée Marcello.

Ce musée, fondé par la duchesse Colonna de Castiglione, née d'Affry, d'une ancienne famille fribourgeoise et connue sous le pseudonyme artistique de Marcello, contient des sculptures de l'artiste, des portraits et études de maîtres anciens et modernes, des tapisseries, meubles, etc. Nous citerons parmi les plus remarquables de ces œuvres d'art, la

(1) Ce discours, qu'on trouvera d'ailleurs reproduit *in extenso* dans les nos 12, 13, 14 et 15 du 2e semestre de la *Schweizerische Bauzeitung*, contient une citation fort remarquable d'un passage d'un rapport au Conseil fédéral de M. Kappeler, ancien président du conseil de l'École polytechnique fédérale; voici ce passage : « Un homme est apprécié d'après ses productions. Comment arrive-t-il à produire ? C'est là une question secondaire, car son talent, son énergie et son activité font plus que les méthodes qui lui ont appris à produire ».

Bianca Capello et la Gorgone, dues au ciseau de la duchesse et qu'on peut ranger, à bon droit, au nombre des chefs-d'œuvre de la sculpture moderne.

Midi sonnait et il était temps de se rapprocher de l'Hôtel de Ville. Bientôt les portes de ce monument donnaient passage à la foule des congressistes qui envahissaient les voitures du tramway pour se rendre aux Charmettes où devait avoir lieu le banquet. Un laps de quelques minutes suffit aux véhicules bleu et blanc des tramways fribourgeois à traction électrique pour franchir la rude montée de la rue de Lausanne qui aboutit à la gare du Jura-Simplon, gagner le nouveau quartier de Perolles et déposer les voyageurs devant un vaste hôtel de construction récente situé non loin des bâtiments da la nouvelle Université; un hall en charpente élégamment décoré de draperies aux couleurs fédérales et fribourgeoises et des écussons des cantons, hall tout fraichement terminé et que le banquet devait inaugurer, y étalait une superbe ordonnance de tables servies attendant les convives dont, sinon les savantes discussions sur les chaux et ciments, tout au moins l'heure tardive paraissait avoir fortement excité l'appétit.

200 personnes environ prirent place, tant invités que membres de la Société suisse, Parmi les premiers, nous citerons MM. Cardinaux, conseiller d'État, chef du département des travaux publics du canton de Fribourg, Chassot, conseiller communal de la ville de Fribourg, de Tetmayer, professeur au Polytechnicum de Zurich, aujourd'hui professeur à l'école polytechnique de Vienne; Bohr, K. Regierungsrath, à Strasbourg, délégué de l'Association des Ingénieurs allemands; Bach et Von Wielemans, architectes à Vienne, délégués de la Société des Ingénieurs et Architectes d'Autriche, les deux délégués de la Société des Ingénieurs Civils de France, etc. Au nombre des sociétaires, nous indiquerons au hasard de la plume les noms de MM. Sand, membre de la direction générale des chemins de fer fédéraux, à Berne, Président de l'Association des anciens polytechniciens de Zürich; Weyermann, ingénieur en chef aux chemins de fer fédéraux, à Berne; A. Van Muyden, ingénieur à Lausanne, délégué de la section vaudoise; Waldner, rédacteur en chef de la *Schweizerische Bauzeitung*, à Zurich; Imer-Schneider, rédacteur en chef du *Bulletin technique de la Suisse romande*, à Genève; Elskes et Orpiszewsky, ingénieurs au Jura-Simplon, à Lausanne, notre collègue, G. Ritter, ancien élève de l'École Centrale, ingénieur à Neuchâtel; colonel Lochmann, aussi ancien élève de l'École Centrale, ancien directeur du bureau topographique fédéral, à Lausanne; Meier, directeur des usines métallurgiques de Roll, à Gerlafingen; Maurer, ingénieur à Fribourg, Hall, directeur de la fabrique suisse de locomotives, à Winterthur; Guillemin, ingénieur des ateliers du Jura-Simplon, à Yverdon, fils de notre collègue Étienne Guillemin, R. de Blonay, ingénieur au contrôle fédéral des chemins de fer, fils de notre collègue H. de Blonay, Vicarino, ingénieur à Bâle, etc.

Le repas, servi par d'accortes sommelières, présentait un menu abondant et choisi, était arrosé par des flots des meilleurs crus vaudois, valaisans et neuchâtelois et égayé par les accents de l'harmonie instrumentale fribourgeoise. Mais les discours devant être nombreux et

développés, la parole fut bientôt donnée à M. le Président Gremaud qui porta le toast usuel à la patrie en insistant sur la reconnaissance que lui devaient ses enfants pour les sacrifices qu'elle avait fait en vue de leur permettre de trouver chez eux des moyens d'étude qu'ils étaient jadis obligés d'aller chercher à l'étranger. M. le Président central Geiser, dans un éloquent discours, en allemand, fréquemment interrompu par les applaudissements de l'assemblée, exposa le chemin parcouru par la Société depuis sa fondation, les services rendus par elle au pays, ce qui lui restait à faire, etc. M. le Conseiller d'État Cardinaux souhaita la bienvenue à Fribourg à la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes; M. A. Mallet lui apporta les vœux de la Société des Ingénieurs Civils de France et leva son verre en l'honneur des ingénieurs et techniciens suisses, etc. Nous devons indiquer que l'expression usuelle de lever son verre pourrait être justement remplacée ici par celle de *soulever* son verre, ce récipient étant, dans les usages suisses, représenté par une lourde coupe en argent contenant au moins deux litres de liquide. dans laquelle l'orateur trempe les lèvres, mais qu'il n'est pas, fort heureusement, tenu d'épuiser. D'autres orateurs, entre autres MM. Sand, Chassot et Van Muyden prirent encore la parole.

Mais le temps qui était, depuis la veille, resté favorable ne devait plus se mettre de la partie. Déjà les roulements du tonnerre et le fracas de la pluie battant les vitres accompagnaient et parfois couvraient la voix des orateurs. Dans ces conditions, la visite projetée au barrage était compromise. Néanmoins un certain nombre de congressistes se dirigèrent vers les installations électriques en bravant les éléments, alors que d'autres, moins courageux, préféraient prolonger la séance à l'abri des intempéries, au milieu de passe-temps variés et en compagnie de chopes mousseuses.

L'usine hydraulique a été construite en 1872 par notre Collègue G. Ritter, de Neuchâtel, et rachetée en 1889 par l'état de Fribourg, pour servir à l'éclairage et à la distribution de force par l'électricité et à l'alimentation d'eau de la ville; elle actionnait à l'origine des transmissions funiculaires à grande distance, dont tous ceux qui ont passé à Fribourg, ne fut-ce qu'en chemin de fer, ont pu voir les câbles et les poulies montées sur de gigantesques pylônes en maçonnerie.

Un barrage de 150 *m* de longueur établi sur la Sarine produit une chute de 8 *m* à la sortie d'un tunnel percé dans le roc pour le passage de l'eau. Le bâtiment contient deux groupes mécaniques; le premier comprend deux turbines de 300 *ch* actionnant des pompes qui refoulent dans un réservoir situé à 160 *m* plus haut: le second groupe est formé d'une turbine de 500 *ch* actionnant des dynamos qui fournissent le courant pour l'éclairage de la ville et la force motrice dont une des principales applications est la traction des tramways. La conférence que que devait faire sur place, sur cette belle installation, M. l'ingénieur Maurer, a été empêchée par le bruit de la pluie et du tonnerre et les assistants, après avoir visité les appareils mécaniques et électriques, ont dû se borner à prendre part à une collation servie dans l'usine puis à opérer vers la ville une retraite en ordre plus que médiocre.

Dans la soirée, un grand nombre des membres se réunissaient à la Collégiale de Saint-Nicolas, pour l'audition d'un concert d'orgues. Tout

le monde connaît, au moins de réputation, les orgues de Fribourg, nous croyons donc inutile d'insister sur cette partie du programme qui a eu, il est à peine besoin de le dire, un très grand succès. L'ordre du jour indiquait, pour finir la journée, une réunion familière au Kurhaus de Schœnberg, mais le temps était si peu favorable que quelques intrépides seuls eurent le courage d'y grimper pour achever la soirée plus ou moins agréablement. Sans le mauvais temps, il y aurait eu une réunion charmante, avec concert, illuminations, feu d'artifice, etc.

Le lundi 26, la pluie tombant toujours, les participants montaient à 8 heures du matin dans le train de la ligne Fribourg-Morat et, comme on trouve toujours de plus malheureux que soi, se consolaient en voyant défiler, sur les routes longées ou croisées par la voie ferrée, des fantassins courbant le dos sous la pluie et pataugeant dans la boue et des cavaliers, le nez dans leurs grands manteaux, n'ayant pas, eux, la réconfortante perspective d'un plantureux dîner après l'étape. Il faut dire pour la compréhension de cette observation qu'il y avait à ce moment un important rassemblement de troupes avec Fribourg pour quartier général.

Les congressistes descendaient à 9 heures à Villars-les-Moines, la dernière station avant Morat, pour visiter le château de la famille de Graffenried-Villars, ancien monastère intelligemment restauré et dans lequel le propriétaire actuel a réuni de véritables trésors artistiques, entre autres quelques-uns des plus beaux spécimens des objets d'art antiques trouvés dans les fouilles d'Avenches.

Une course de 2 *km* conduisit la troupe des participants à Morat, où le programme indiquait la visite du château, des remparts, du musée et enfin de l'obélisque érigé en souvenir de la bataille de 1476; cette visite fut forcément abrégée à cause du temps pluvieux et on se réunit à midi à l'hôtel de la Croix-Blanche pour la formalité importante du dîner, auquel prirent part près de cent cinquante convives, chiffre qu'on n'aurait pas osé prévoir, vu le temps si peu favorable. La musique municipale de Morat avait prêté son obligeant concours. Il y eut de nombreux discours; nous nous bornerons à indiquer que M. Gremaud porta un toast chaleureux en l'honneur de M. Geiser qui accomplissait sa vingt-cinquième année de présidence et qui avait contribué plus que personne à amener la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes à son degré actuel de développement et de prospérité.

La fête s'est terminée par une promenade en bateau à vapeur sur le lac de Morat; le temps avait bien voulu devenir plus clément et le soleil se montrait même par intervalles. La promenade fut coupée par un arrêt à Praz, sur la rive occidentale du lac, pour réception par la municipalité, visite du vignoble du Bas-Vuilly, où sont installés des canons contre la grêle, vin d'honneur pour la dégustation des produits dudit vignoble, etc. Le bateau ramena tout le monde à Morat, où eut lieu la séparation, chacun se dirigeant de son côté et tous se donnant rendez-vous à Coire, en 1903, pour la prochaine Assemblée générale de la Société.

Les délégués de la Société des Ingénieurs Civils de France conserveront le meilleur souvenir de cette réunion où ils ont été reçus avec une

si franche cordialité et où ils ont pu apprécier une fois de plus la haute estime dans laquelle notre Société est tenue à l'étranger. Il est seulement à regretter qu'une fête organisée avec tant de dévouement et de soins n'ait pas été plus favorisée par le temps.

Thomas Curtis Clarke. — Nous avons inauguré nos chroniques en l'année 1880 par la traduction d'un discours prononcé par M. Thomas C. Clarke le 19 avril 1879, en prenant possession du fauteuil de la présidence du Club des Ingénieurs de Philadelphie. Le sujet de ce discours était « l'avenir de la profession d'ingénieur en Amérique ». On y trouvait des aperçus d'un haut intérêt et d'une application très générale.

M. Clarke est mort le 15 juin dernier à New-York, dans sa soixante-quatorzième année et il nous a paru convenable, tant à cause du fait que nous venons de rappeler que pour les remarquables travaux exécutés par cet éminent ingénieur, de donner ici un aperçu de sa carrière.

Thomas Curtis Clarke était né à Newton (Massachussets) en 1827 ; il avait fait ses études à Boston et avait passé par l'université de Harvard. Il avait fait ses études classiques complètes et en avait conservé un goût très vif pour la littérature. La trace de cette éducation première était manifeste dans ses écrits, dont le style était beaucoup plus élégant que celui qu'on rencontre d'ordinaire en Amérique dans les documents techniques. Il fit son apprentissage sous le capitaine John Childe, de Springfield, ancien élève de l'Académie militaire de West Point qui avait quitté le corps du génie en 1835, pour exercer la profession d'ingénieur civil. Clarke fut employé à divers travaux relatifs à l'amélioration de la navigation sur le Saint-Laurent et fut ainsi conduit à aller au Canada où il passa plusieurs années dans diverses entreprises; il s'y maria en 1857.

Il avait eu occasion de s'occuper de la construction des ponts pour le Grand Trunk Railway et avait pris un goût très vif pour cette branche importante du génie civil qui devait faire l'objet de sa carrière presque tout entière. En 1866, il fut chargé de l'étude et de la construction de deux grands ponts sur le Mississipi pour le passage du Chicago, Burlington and Quincy R. R., à Burlington et à Quincy; ces ponts présentaient des dispositions très intéressantes, l'un était à huit travées de 48 *m*, l'autre à quatre travées de 78 *m*, plus pour chacun une travée mobile de 108 *m* de longueur.

Après l'achèvement de ces ouvrages dans la construction desquels il introduisit, pour la première fois en Amérique, l'emploi du béton sur une large échelle, Clarke entra dans une Société fondée pour la construction des ponts, sous la raison sociale Kellogg, Clarke et Cie, qui devint peu après Clarke, Reeves et Cie et finit par prendre le titre de Phœnix Bridge Cy. Cette maison construisit quantité d'ouvrages remarquables, entre autres le viaduc de Kinzua, en Pensylvanie, qui fut à son époque un des plus importants des Etats-Unis. Il avait 629 *m* de longueur en quarante et une travées, et avait son tablier à 87 *m* de hauteur.

On sait que l'accroissement du trafic et l'augmentation des charges qui en est résultée, ont obligé à reconstruire ce pont l'année dernière. Un autre ouvrage très intéressant, exécuté par la même maison, est le pont de l'avenue Girard, à Philadelphie, de 305 *m* de longueur et

30,50 *m* de largeur. Clarke se retira de la Phœnix Bridge Cy pour entrer dans l'Union Bridge Cy, qui exécuta, avec son concours, divers ouvrages remarquables tels que le pont sur l'Hudson, à Poughkeepsie, dont les fondations ont été descendues à 40 *m* de profondeur, et le célèbre pont d'Hawkesbury, en Australie, le premier ouvrage fait par une maison américaine pour les colonies anglaises.

En dernier lieu, Clarke était Ingénieur en chef de la construction d'un grand pont à New-York et membre de diverses commissions techniques, instituées pour l'étude des nouveaux ponts de cette ville. On a calculé que, dans le cours de sa carrière, il avait participé directement à la construction de 129 000 mètres de ponts. Clarke avait été un des fondateurs du Club des Ingénieurs de Philadelphie, dont il fut président en 1879. Entré en 1868 dans l'American Society of Civil Engineers, il en devint président en 1896. Il avait reçu de l'Institution of Civil Engineers, de Londres, un prix Telford pour un mémoire sur les ponts américains.

Moteur agissant par l'expansion et la contraction d'un liquide. — Le docteur O. Zimmermann, de Ludwigshafen-sur-Rhin, a proposé de construire des moteurs sur un principe qui ne paraît pas avoir été utilisé pratiquement jusqu'ici, savoir la dilatation d'un liquide par la chaleur. On sait que l'eau se dilate de 4.3 0/0 entre les températures de l'ébullition et de la congélation, mais on peut obtenir une expansion bien plus considérable en élevant la température au-dessus de 100° ou en employant des liquides plus dilatables, tels que l'éther et l'acide sulfureux. Toutefois, l'utilisation directe de la dilatation de l'eau n'est pas rationnelle économiquement à cause de la chaleur spécifique élevée de ce liquide.

Le docteur Zimmermann surmonte cette difficulté en disposant son moteur de la manière suivante : Supposons deux cylindres placés en tandem ; l'un chauffé, l'autre refroidi ; on les appellera C et R ; ils sont reliés par des conduits faisant communiquer les fonds en regard. Les pistons *pc* et *pr* sont creux et également mis en communication par des conduits qui passent à l'intérieur des conduits dont il a été question précédemment. Si on appelle espace intérieur l'espace compris entre les deux pistons et espace extérieur l'espace compris entre les surfaces extérieures, pour une certaine position des deux pistons qui sont équilibrés et marchent ensemble, le liquide dans l'espace intérieur sera chaud et celui dans l'espace extérieur sera froid. Si on déplace les pistons, le liquide chaud passera de C en R et le liquide froid de R en C ; le volume intérieur sera refroidi et le volume extérieur réchauffé. Si on dispose sur C un cylindre à air contenant un piston *a* et qu'on fasse communiquer ses faces par des lumières avec les volumes intérieur et extérieur, la dilatation du second et la contraction du premier amenées par les échauffements et refroidissements respectifs, seront équilibrés par le déplacement du piston *a* ; c'est ce déplacement alternatif qui constitue le moteur.

En pratique, les pistons *pr* et *pc* sont pleins et réunis par une tige commune. le tuyau de liaison indiqué pour la démonstration étant placé

à l'extérieur dans un cylindre spécial qui communique par deux lumières avec les espaces dits intérieur et extérieur. Si on fait la section du piston *pc* plus grande que celle du piston *pr* on peut se dispenser du cylindre spécial de pression, et on peut relier directement la tige commune des pistons à la manivelle motrice. En tout cas, il est utile d'introduire dans le système une résistance élastique sous forme de réservoir d'air.

Les pressions élevées sont avantageuses parce que, plus la température est élevée, plus la dilatation est considérable; avec ces pressions, il est bon d'employer des pistons plongeurs. Le docteur Zimmermann a développé ses idées dans une brochure publiée par la maison R. Oldenburg à Münich; il y expose le système de construction, basé sur ce principe, d'appareils de levage, de machines élévatoires et d'épuisement, et même de machines marines. Les récipients dans lesquels se fait l'échange de chaleur et qui peuvent naturellement être en nombre quelconque, n'ont dès lors pas besoin d'être très grands. L'expérience seule peut faire reconnaître si le fonctionnement d'un tel moteur entre les limites de 20 et 200° centigrades peut être réalisé pratiquement. Les renseignements très sommaires qui précèdent sont extraits de l'*Engineering*. Nous rappellerons que, dans les premières années du siècle dernier, Cagniard de Latour paraît avoir proposé de créer une force motrice par la dilatation du mercure en utilisant des eaux chauffées à 75° et même au-dessous, rejetées dans certaines fabrications. On aurait, à la même époque, essayé, au Conservatoire des Arts et Métiers, un moteur basé sur la dilatation et la contraction alternatives de systèmes de tringles métalliques en présence de courants successifs d'eau chaude et d'eau froide. On trouve quelques indications sur ces appareils dans le *Traité de mécanique* de Borgnis.

Beau de Rochas et les moteurs thermiques. — M. Joseph Becker, examinateur officiel au Patent Office, à Washington, est venu en Europe, il y a quelques mois, pour se livrer à des recherches sur l'origine des moteurs à gaz et à pétrole. Il avait été autorisé par M. le président de notre Société à travailler dans la bibliothèque et, tout en admirant la richesse de nos collections de livres, il avait constaté l'absence de la célèbre brochure de Beau de Rochas où se trouve énoncé, pour la première fois, le principe du cycle à quatre temps. M. Becker, ayant pu se procurer un exemplaire de cet ouvrage extrêmement rare aujourd'hui, a bien voulu l'offrir à notre bibliothèque en souvenir du bon accueil qu'il avait reçu chez nous.

Comme la brochure de Beau de Rochas, qui a joué un rôle important dans des contestations judiciaires soulevées à propos des brevets Otto pour moteurs à gaz, est en réalité très peu connue, il nous paraît intéressant d'indiquer succinctement ce qu'elle contient. C'est une brochure autographiée format 22/27 parue en 1862 chez Lacroix à Paris. Elle contient 53 pages sans aucune figure et porte sur le titre : *Nouvelles recherches sur les conditions pratiques de plus grande utilisation de la chaleur et en général de la force motrice avec application au chemin de fer et à la navigation.*

L'auteur se propose de décrire sommairement quelques perfectionne-

ments à introduire dans les générateurs à vapeur ou les machines à gaz. Ces perfectionnements se divisent en deux classes : 1° Dispositifs de détails et 2° dispositifs d'ensemble.

La première catégorie contient trois dispositifs : le premier est relatif à l'épuration d'eau d'alimentation et consiste en un appareil d'épuration directe faisant partie intégrante du système d'alimentation, cet appareil est fondé sur le principe bien connu de la précipitation des sels de chaux par la simple élévation de la température au-dessus de 150° et prévoit la division de l'eau en filets minces lors de son introduction dans une capacité en communication avec la vapeur du générateur.

Le second dispositif est relatif à une soufflerie à jet de vapeur continu ou intermittent. L'emploi du jet de vapeur pour déterminer un courant gazeux a l'inconvénient de n'avoir qu'un faible rendement et l'auteur s'est proposé d'améliorer ce rendement en rendant constante la section du conduit depuis la prise d'air jusqu'à la section de sortie exclusivement. Il prévoit cependant des cas où on peut introduire un accroissement continu de la section pour profiter de la détente, dans la limite où l'accroissement de charge qui en résulte n'est pas compensé par la perte due à la diminution de la vitesse, cas qui peut se présenter pour les cheminées de locomotives et, en général, quand la température du mélange dépasse 100°. Beau de Rochas insiste sur ce point, c'est que si on n'a jamais obtenu jusqu'ici un effet utile satisfaisant de l'application du jet de vapeur à une ventilation quelconque, c'est uniquement parce qu'on l'a toujours fait fonctionner dans des conditions exagérées de résistance et que, dans ce cas, la majeure partie de la force vive du jet se dépensait en frottements et pertes inutiles.

Le troisième dispositif est relatif à l'établissement des tubes dans les générateurs tubulaires. L'auteur estime que la température du foyer dépend de la température constante de l'enceinte et non des dimensions absolues de ce foyer. L'utilité des grands foyers est ailleurs que dans l'accroissement de la surface ayant vue directement sur le feu. On se trompe également en attribuant à l'étendue de la surface de chauffe des tubes un rôle actif dans la transmission de la chaleur, attendu que des surfaces d'étendue très différentes peuvent, dans les mêmes conditions, transmettre des quantités de chaleur identiques et inversement.

La cause de cette erreur est qu'on a considéré que l'air est très mauvais conducteur de la chaleur, sans remarquer que son pouvoir dispersif est, au contraire, extrêmement grand.

Le refroidissement des gaz dans les tubes est principalement fonction du diamètre et non de la surface ; en réalité c'est une fonction de la distance et du temps. Partant de ce principe, l'auteur admet la possibilité de faire des appareils capables de transmettre de très grandes quantités de chaleur avec de très faibles surfaces de chauffe et infiniment peu de résistance. Ces générateurs, devant employer des tubes de très petit diamètre, très courts, devraient être alimentés avec de l'eau très pure ce qui donne une importance encore plus grande à l'appareil précédent. L'addition du côté de la boite à fumée d'un cône divergent dans le prolongement de chaque tube réduirait la perte de charge.

Dans les dispositifs d'ensemble, nous trouvons d'abord un nouveau

générateur tubulaire dans lequel le rayonnement est absolument supprimé (ce qu'ont fait plus tard Verderber, Docteur, etc.); de plus il y est fait usage de tubes de faible diamètre, nombreux et très courts. L'auteur estime qu'une longueur de 0,30 *m* suffit pour la production de la vapeur. Les tubes de la partie supérieure serviraient à sécher la vapeur en vaporisant l'eau entraînée par une ébullition un peu rapide.

Le second dispositif d'ensemble qui se trouve porter le n° 5 de la classification générale est relatif à un générateur à gaz constituant une application nouvelle des foyers à gaz au chauffage des générateurs. L'auteur propose d'appliquer au chauffage des chaudières et notamment des chaudières marines les gaz combustibles produits dans des gazogènes soufflés au moyen de jets de vapeur employés dans les conditions indiquées plus haut par lui. Il indique diverses dispositions ingénieuses et quelquefois originales pour permettre les rallumages nécessités par les arrêts plus ou moins prolongés.

Le 6e dispositif (3e d'ensemble) concerne un moteur mixte à vapeur et à gaz. Beau de Rochas déclare qu'on doit désormais considérer comme essentiellement incomplète toute machine à gaz seul ou toute machine à vapeur seule, l'une étant nécessairement le complément normal de l'autre. La machine à vapeur a contre elle son rendement peu élevé, mais elle a pour elle sa facilité de mise en train. L'auteur prévoit donc une machine dans laquelle les cylindres à gaz feront l'appel des gaz du cubilot ou gazogène et les refouleront après leur détente dans le générateur à vapeur, les cylindres à vapeur seront alimentés par un mélange de vapeur et d'air chaud et leur échappement sera employé surtout à diminuer la contre-pression dans les cylindres à gaz en facilitant l'expulsion de l'air brûlé et refroidi hors de la machine. On peut distinguer deux cas : celui où les gaz à brûler sont pris à la pression ambiante et celui où ils sont préalablement comprimés. Ces deux cas sont étudiés en détail et c'est à propos du second que Beau de Rochas est amené à déclarer que le seul dispositif véritablement pratique pour les cylindres à gaz consiste à n'employer qu'un seul cylindre, d'abord pour qu'il soit le plus grand possible, pour avoir le moins de surface périphérique, et ensuite pour réduire les mouvements résistants des gaz à leur minimum absolu. On est ainsi conduit, pour un même côté du cylindre, à exécuter les opérations suivantes dans une période de quatre courses consécutives :

1° Aspiration pendant une course entière du piston;

2° Compression pendant la course suivante;

3° Inflammation au point mort et détente pendant la troisième course;

4° Refoulement des gaz brûlés hors du cylindre au quatrième et dernier retour.

Ce mode de fonctionnement constitue le cycle à quatre temps sur lequel sont basés beaucoup de moteurs à gaz et notamment le moteur Otto, le premier où ce cycle a été utilisé. On a fait observer que, dans la patente de 1877 de la Gasmotoren Fabrik, de Deutz, la revendication

n° 4 reproduit les quatre phases indiquées ci-dessus par Beau de Rochas (1).

Le septième dispositif se rapporte à une machine à gaz pour petites forces qui serait, suivant les cas, ou un moteur Lenoir, c'est-à-dire sans compression alimenté par un gazogène ou un moteur à compression comme celui dont il a été question plus haut.

L'auteur passe ensuite aux applications des dispositifs précédents ; il décrit une locomotive de plus grande adhérence dans laquelle les essieux des roues portent des rouleaux très lourds : en mettant six de ces rouleaux on peut atteindre pour la machine un poids de 72.000 *t*, entièrement utilisé pour l'adhérence. L'avantage, d'après l'auteur, est que cette surcharge, étant sur la partie roulante, n'accroîtra pas la résistance à la traction d'une manière sensible.

Vient ensuite la description d'un wagon de moindre résistance dont les conditions d'établissement comportent : une plus grande capacité de chargement, des roues de plus grand diamètre et des fusées creuses pour empêcher l'échauffement.

Comme application à la navigation, l'auteur traite du touage par adhérence. Nous ne nous étendrons pas sur cette question qui a fait l'objet devant notre Société dans la séance des 6 et 20 février 1863 d'une discussion à laquelle a pris part Beau de Rochas, lui-même, nous nous bornerons à indiquer que l'auteur considère ce mode de traction par adhérence au sol d'une chaîne pesante comme applicable à la traction des trains de chemins de fer.

Il nous a paru utile de donner une idée succincte des sujets traités dans cette brochure dont on a beaucoup parlé et que probablement peu de personnes ont pu étudier. En tout cas nous devons savoir gré à M. Becker d'avoir mis ceux de nos Collègues que ces questions intéressent à même d'en prendre connaissance.

(1) M. J. Becker a eu soin de joindre à l'exemplaire de la brochure de Beau de Rochas un exemplaire de la patente du moteur à gaz de la fabrique de Deutz.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Septembre 1901.

Rapport de M. Ed. Simon, sur un système **d'obturation pour becs de gaz,** par M. le capitaine Girardville.

Les becs de gaz donnent généralement lieu à des fuites qui augmentent avec l'usure des robinets ; ces fuites ont des conséquences toujours gênantes et qui peuvent devenir dangereuses.

Le système de M. le capitaine Girardville consiste dans une fermeture de robinet effectuée de manière à obtenir le contact intime des surfaces d'occlusion et dans une garniture spéciale de la clef. En principe la clef porte un filetage grâce auquel, lors de la fermeture, un cône qui la termine pénètre dans une embase et produit une occlusion absolue du passage ; de plus il y a une garniture de glycérine empêchant les fuites, lors même que le filetage aurait pris du jeu. Ce système paraît devoir être efficace, il mérite d'être soumis à une expérimentation prolongée.

Les états Danubiens, par M. Joseph Mallat, professeur d'économie commerciale *(suite et fin).*

Essai des métaux par pliage de barrettes entaillées, par M. Ch. Fremont.

Dans cette note, notre distingué Collègue rappelle que l'essai au choc sur barreau entaillé est employé depuis très longtemps. Swedenborg en parle dans son *Traité du fer*, imprimé en 1734. L'essai de traction, lui, n'est devenu un essai de recette que depuis 1860, à la suite d'une étude de M. Kirkaldy. Tout le monde sait que des aciers, ayant donné d'excellents résultats à l'essai de traction, se brisent quelquefois sous un choc même léger ou après un travail vibratoire plus ou moins prolongé. L'essai de traction ne renseigne donc pas sur la fragilité du métal, il faut donc des essais supplémentaires par pliage, choc, etc.

La note examine les diverses méthodes proposées pour mesurer la fragilité des aciers et conclut en faveur de l'essai au choc sur barrettes entaillées et indique les conditions dans lesquelles doit se faire cet essai ; il décrit les dimensions de l'éprouvette, la forme et les dimensions de l'entaille, le mouton employé pour l'essai et les conditions de réception.

Notes de mécanique. On trouve dans cette partie le résumé très développé d'un travail de M. J. Mac Kechnie sur la machinerie marine pendant les dix dernières années, présenté à l'*Institution of Mechanical*

Engineers, une note sur les machines à vapeur surchauffée, d'après M. R. Lenke et une de M. G. Koenigs, sur les principes généraux des mécanismes avec esquisse d'une théorie générale des mécanismes.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

1er trimestre de 1901.

Les travaux publics de l'Allemagne à l'Exposition universelle de 1900, par M. de Dastein, inspecteur général des ponts et chaussées. (Extrait du rapport du jury de la classe 29).

Cette note décrit rapidement le Canal Empereur-Guillaume, dit aussi canal de Kiel, avec ses principaux ouvrages, écluses, bacs et ponts.

Il est intéressant de noter que le trafic, qui était de 1.751.000 *t* en 1896 s'est élevé à 3.450.000 en 1899 ; le déficit, c'est-à-dire la différence entre les dépenses et les recettes, s'est abaissé de 1.200.000 *f* pour 1896 à 540.000 *f* pour 1898.

Vient ensuite la description des travaux suivants exposés par le Ministère des Travaux publics de Prusse : Amélioration de l'Oder supérieur, canal de Dordmund à l'Ems où se trouve l'ascenceur de Henrichenburg, avec quelques renseignements sur le trafic des voies navigables en Allemagne (1), et une note sur les nivellements de précision fondamentaux et observation des niveaux d'eau dans le royaume de Prusse, une étude sur le régime des eaux en Prusse, sur le canal maritime de Konigsberg, sur la fixation des dunes, le bris des glaces dans les cours d'eau d'Allemagne, etc.

Le Sénat et la Ville de Lubeck ont exposé les documents et modèles relatifs au canal de l'Elbe à la Trave ; le Ministère de l'Intérieur du royaume de Wurtemberg, les dessins et modèles de 25 ponts-routes construits dans les quinze dernières années parmi lesquels se trouvent des ponts en maçonnerie avec articulations dus à l'initiative de M. Leibbrand, président de l'Office des routes et navigation.

La Direction générale des chemins de fer du Grand-Duché de Bade a exposé le plan du nouveau pont de Kehl et le Sénat et la ville de Hambourg ceux du port de Hambourg et de l'Elbe inférieure.

Le Sénat de la Ville libre hanséatique de Brême a exposé les plans des ports de Brême et de Bremerhaven, et de l'amélioration de Weser, la municipalité de la ville de Mannheim ceux des ports de Mannheim et de Ludwigshaven et celle de la ville de Cologne les plans du port de cette ville.

Si nous passons aux Sociétés particulières, nous voyons la Société de construction de machines de Duisbourg exposer deux grues de 150 *t*, la Gutehoffnungshutte les dessins du pont-route sur le Rhin, à Bonn, du pont-route sur le Rhin à Dusseldorf et du pont-route sur l'Aar à Berne ;

(1) Voir chronique de septembre, page 584.

l'usine Haniel et Lueg à Dusseldorf, expose les dessins de l'ascenceur à bateaux de Henrichenburg, la Société Harkort, à Duisbourg le dessin de divers ponts, entre autres ceux de Worms sur le Rhin et du viaduc du Châ, au Brésil, la grande maison Ph. Holzmann et C[ie], à Francfort, les dessins du tunnel sous la Sprée, à Berlin et des fondations de la forme de radoub de Kiel.

La fabrique de machine d'Esslingen présente les modèles du pont suspendu sur l'Argen près du lac de Constance (1) et du pont du chemin de fer établi au même endroit; la maison Ch. Pohlig, à Cologne, des dessins de chemins de fer aériens du système Otto, perfectionné et developpé et des appareils de déchargement et de transbordement de charbons, la société Union, de Dormund, les plans du pont-route sur l'Elbe, à Magdebourg, de la halle aux voyageurs de la gare principale de Cologne et de divers ponts, les Sociétés de constructions réunies de Nuremberg et d'Augsbourg, les dessins du pont-route sur le Rhin, près de Worms, du chemin de fer aérien Barmen-Elberfeld, du pont-route sur le Danube à Straubing, du viaduc Empereur-Guillaume près Mungsten, enfin le professeur Intze, à Aix-la-Chapelle, les plans de divers ouvrages qu'il a étudiés tels qu'un barrage avec création de force à Urfthal, et de défenses contre les crues du Bober et de la Queiss, dans la Haute-Silésie.

On voit que cette nomenclature, un peu longue, mais que nous n'avons pas cru devoir abréger. contient, à peu près, tous les travaux un peu importants dans le domaine des travaux publics exécutés en Allemagne, depuis une quinzaine d'années.

Renseignements relatifs aux **travaux de régularisation des rivières de l'Allemagne du Nord**, réunis par M. Robert, Ingénieur des Ponts et Chaussées, pour servir aux Études de l'avant-projet de régularisation de la Loire, entre la Maine et Nantes.

La première partie de la note forme une monographie descriptive de chacun des fleuves considérés, tandis que la seconde met en relief les analogies et les différences qui existent entre ceux-ci et la Loire, et les conclusions à tirer de cette comparaison au sujet de cette dernière.

Les fleuves considérés sont l'Elbe, l'Oder, la Vistule, le Weser. Pour chacun, la note examine successivement : les conditions du régime du fleuve, les travaux de régularisation dont il a été l'objet, les conditions de navigabilité antérieures aux travaux et actuelles, le développement pris par la navigation à la suite de ces travaux, et enfin les dépenses de régularisation et d'entretien.

La note constate de grandes analogies entre les cours d'eau de l'Allemagne du Nord et la Loire, au point de vue du régime, de la nature du lit, des pentes et des débits ; il n'y a aucune différence essentielle dans la nature des matériaux du lit et des rives, qui sont des sables quartzeux de même composition minéralogique. On ne saurait donc révoquer en doute la possibilité d'obtenir par la régularisation une certaine amélioration de la navigabilité de la Loire, mais la portée de cette amélio-

(1) Voir *Informations techniques* de février 1899, page 338.

ration sera, d'après l'exemple des fleuves allemands, assez limitée et demandera beaucoup de temps, puisque l'œuvre accomplie dans l'empire voisin, entreprise depuis plus de 50 ans, n'est pas encore achevée. On constate, il est vrai, que la batellerie peut tirer un parti considérable d'une navigabilité modeste, mais cela à la condition d'avoir un matériel de traction et un matériel de transport adaptés au gabarit de la voie.

L'auteur est d'avis que les perfectionnements des procédés de traction et de transport fluviaux ont eu, dans le progrès de la navigation en Allemagne, une part plus importante que les résultats techniques obtenus par la régularisation.

Les assemblages dans la construction des chaudières à tubes d'eau, par M. Walckenaer, Ingénieur en chef des Mines, rapporteur de la Commission centrale des machines à vapeur.

Cette note a paru précédemment dans les *Annales des Mines* et nous en avons rendu compte dans le Bulletin d'avril 1901, page 638.

Les usines de la Vallée de l'Arense, par M. Balling, Élève-ingénieur des Ponts et Chaussées.

Ces notes ont été recueillies au cours d'une excursion en Suisse des élèves de l'École des Ponts et Chaussées.

L'Arense prend sa source dans le Jura neuchâtelois un peu au-dessus de Saint-Sulpice et se jette dans le lac de Neuchâtel. On peut diviser son cours en quatre sections, dont la première et la troisième seules donnent lieu actuellement à une utilisation de force motrice, mais les usines de la troisième section ont seules de l'importance. Elles sont au nombre de quatre, savoir : l'usine de Val-de-Travers, celle du Champ-du-Moulin, de Combe-Garrot et de Neuchâtel.

La première comportant trois groupes composés chacun d'une turbine et d'une dynamo, fournit l'énergie électrique pour éclairage et force motrice aux villages du Val-de-Travers, Noiraigues, Travers, Couvet, Mâtiers et Fleurier, dont le plus éloigné est à 17 *km*, la force totale est de 750 *ch* avec une chute de 33 *m*.

L'eau est amenée aux turbines par un tunnel de 700 *m*, suivi d'une conduite en tôle d'acier de 1,60 *m* de diamètre et 147 *m* de longueur.

L'usine du Champ-du-Moulin sert à l'alimentation de la Chaux-de-Fonds située à 20 *km*. L'usine est divisée en deux parties ; la plus ancienne contient quatre groupes, composés chacun d'une turbine et de deux pompes, la seconde, plus récente, comprend deux groupes également composés chacun d'une turbine actionnant deux pompes ; des débrayages permettent de faire actionner des dynamos ou bien des pompes, les pompes des deux installations refoulent directement à 487 *m* de hauteur réelle, non compris les pertes de charge ; la conduite de refoulement à 18 460 *m* de longueur.

L'usine de Combe-Garrot est prévue pour neuf groupes, mais n'en contient encore que cinq, chacun comprend une turbine et une dynamo ; chaque turbine développe 400 *ch*, sous 88,70 *m* de chute, ce sont des turbines centrifuges à axe horizontal et admission partielle à la partie inférieure. Ces dynamos envoient le courant électrique au Locle et à la Chaux-de-Fonds.

Dans une salle spéciale de l'usine dont nous nous occupons, se trouvent deux turbines de 400 *ch*, dont chacune actionne des pompes centrifuges disposées en série et refoulant l'eau à 87 *m* de hauteur, pour l'alimentation de la ville de Neuchâtel.

La dernière usine, celle de Neuchâtel, produit l'énergie électrique distribuée à Neuchâtel, sous forme de courant triphasé pour la force motrice et de courant monophasé pour la lumière ; elle comprendra neuf groupes dont six sont installés actuellement, chacun formé d'une turbine et d'un alternateur.

La note se termine par quelques renseignements très sommaires sur l'installation en cours d'exécution sur le Rhône en amont de Saint-Maurice, pour fournir l'énergie électrique à la ville de Lausanne, située à 56 *km*. On compte obtenir 6 000 *ch* à l'étiage et 14 000 pendant dix mois de l'année. Le courant continu sera transporté à la tension de 22 000 volts et transformé en courant triphasé à 3 000, la distribution en ville sera opérée à 125 volts. *(A suivre.)*

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Juin 1901.

District de Paris.

Séance du 25 avril 1901.

Communication de M. Villain sur **les gisements de minerai de fer de Meurthe-et-Moselle.**

La France occupe le quatrième rang dans le monde, pour la production de la fonte et de l'acier.

Le département de Meurthe-et-Moselle présente des richesses considérables en minerais et la découverte récente de nouveaux gisements dans l'arrondissement de Briey, constitue l'événement capital de l'histoire de la sidérurgie française dans ces dernières années.

La note étudie successivement le développement de l'industrie métallurgique en Meurthe-et-Moselle, la situation et l'étendue du gisement lorrain, les procédés d'exploitation, la nature et l'emploi des minerais. On peut admettre que le jour est prochain où les usines françaises ne consommeront plus de minerais oolithiques provenant de l'étranger, et que la sidérurgie lorraine est assurée de ne pas manquer de minerai avant un siècle.

Juillet 1901.

Réunion de Saint-Étienne.

Séance du 8 juin 1901.

Communication de M. Maussier, sur **les filons métallifères à gangue de spath fluor,** de la région de Langeac.

Communication de M. Blanc, sur **les formations glaciaires et les dépôts aurifères de la région des Kara-dagh** (Turquie d'Europe).

La région qui fait l'objet de cette communication se trouve au nord-est de Salonique. L'étude des dépôts a démontré l'existence dans cette région, pendant l'époque glaciaire, d'un immense glacier. Il y a là une vaste région aurifère, car sur une superficie grande comme deux de nos départements, les indigènes lavent un peu partout les sables des rivières pour en recueillir l'or. On trouve aussi la trace de travaux anciens. Une étude approfondie peut seule faire reconnaitre s'il y a dans cette vaste région des dépôts assez riches pour pouvoir être exploités utilement.

Nomination d'une **Commission chargée d'établir un programme d'études** sur les **câbles d'extraction en aloès.**

District du Nord.

Séance du 28 novembre 1901.

Communication de M. Neu, sur **l'électricité à l'Exposition de 1900.**

Après avoir exposé l'importance des installations électriques de l'Exposition et donné quelques chiffres sur les capitaux engagés dans quelques pays dans les industries électriques, l'auteur s'occupe de deux inventions remarquables que présentait l'Exposition, savoir : le télégraphone de M. Valdemar Poulsen et le télégraphe automatique imprimeur en écriture cursive, des inventeurs hongrois, MM. Pollak et Virag.

Note sur **les conditions économiques de fonctionnement des haveuses** mises en service à la fosse n° 11 de la Société des mines de Lens, par M. de Chambure.

La Société des Mines de Lens a mis en service au mois d'octobre 1900, à sa fosse n° 11, trois haveuses à percussion mues par l'air comprimé : une du type Sergeant et deux du type Sullivan. On a constaté que la production se trouve augmentée pour la même étendue de front de taille, dans le rapport de 14 à 8. On a, de plus, l'avantage d'utiliser une plus forte proportion de villageois devenus mineurs.

Communication de M. Kuss, sur **les mines d'or de l'Australie Occidentale.**

Communication de M. Masson, sur une **Étude comparée de la législation ouvrière.**

Il s'agit de la fondation d'une Société récente, qui se propose l'étude comparée de la législation ouvrière dans tous les pays industriels, sous le nom d'Association internationale pour la protection légale des ouvriers, et dont le siège sera en Suisse.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 35. — *31 août 1901.*

Exposition universelle de 1900. — Les Locomotives, par E. Brückmann *(suite).*

Exposition universelle de 1900. — Les machines de filature, par G. Rohn *(suite).*

Nouvelles installations de turbines *(fin).*

Groupe de Dresde. — La question des écoles.

Groupe de Wurtemberg. — Laboratoire d'essais des matériaux de l'école technique supérieure de Stuttgart.

Bibliographie. — Les ponts à l'époque actuelle, par F. Heinzerling.

Revue. — Machine à fraiser universelle de la Cincinnati Milling Company. — Chemins de fer électriques à grande vitesse.

Correspondance. — Essais en frein sur une locomobile compound à vapeur surchauffée, de la fabrique R. Wolf, à Buckow-Magdebourg.

N° 36. — *7 septembre 1901.*

Voiture de chemin de fer à grande vitesse de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, à Berlin, par O. Lasche.

Exposition internationale de Glasgow, en 1901.

Exposition universelle de 1900. — Machines pour la fabrication du papier, par A. Pfarr *(fin).*

Groupe de Schleswig-Holstein. — Coup d'œil rétrospectif sur la physique.

Bibliographie. — Dynamique de la transmission par bielle et manivelle, avec application aux machines marines, par H. Lorenz.

Revue. — Manutention des bagages à la gare du quai d'Orsay du chemin de fer d'Orléans. — Distribution de Kienast, pour machines à vapeur.

N° 37. — *14 septembre 1901.*

Recherches sur les moteurs à gaz, par G. Meyer.

Voiture de chemin de fer à grande vitesse de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, à Berlin, par O. Lasche *(fin).*

Exposition internationale de Glasgow, en 1901. — La construction des navires et des machines marines.

Exposition universelle de 1900. — Les locomotives, par G. Brückmann *(suite).*

Bibliographie. — Théorie de l'équilibrage de Schlick pour les machines à vapeur à manivelles multiples, par M. Schubert.

Revue. — Installation de transport de force de la Bay Counties Power Company.

N° 38. — *21 septembre 1901.*

Laboratoire pour l'art de l'Ingénieur à l'École technique supérieure de Stuttgart, par C. Bach.

Recherches sur les moteurs à gaz, par E. Meyer *(fin).*

Exposition universelle de 1900. — Appareils de levage, par Kammerer *(suite).*

Machine à percer à outils multiples de Bopp et Reuther, à Mannheim, par M. Fischer.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Réglementation des appareils de surchauffe.

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Perforatrices pour le rocher. — Machines rotatives et turbines à vapeur. — Transformateurs rotatifs.

Bibliographie. — Traité pratique des machines marines motrices, des machines auxiliaires, des machines à pétrole et à gaz, par Girard.

Revue. — Adolf Bleichert. — Fabrique de câbles de Siemens et Halske. — Expériences comparatives avec des freins automatiques. — Statistique des installations électriques dans l'empire allemand.

N° 39. — *28 septembre 1901.*

Voiture de chemins de fer à grande vitesse de Siemens et Halske, à Berlin, par W. Reichel.

Acier pour outils de tours à grande vitesse.

Exposition universelle de 1900. — Construction des turbines, par E. Reichel *(suite).*

Groupe de Berg. — Protection des parois contre le refroidissement. — Plaques pour le soudage des métaux, de J. Laffitte.

Revue. — Congrès international d'Ingénieurs à Glasgow. — Outillage mécanique du port de Hambourg.

N° 40. — *5 octobre 1901.*

Canal de Dortmund à l'Ems. — Manœuvre électrique des écluses de Munster et de Gleesen, par Rudolph *(fin).*

Voiture de chemins de fer à grande vitesse de Siemens et Halske, à Berlin, par W. Reichel *(suite).*

Résistance des plateaux de pistons, par G. Schwarz.

Calcul des efforts dans les montants verticaux des poutres en treillis, par A. Ostenfeld.

Aperçu critique sur les coussinets à billes, par R. Stribeck.

Groupe de Cologne. — Nouvelles machines élévatoires de la fabrique de machines Humboldt avec application de la commande par l'électricité.

Groupe de la Lenne. — Les explosifs et leurs applications techniques.

Groupe de la Prusse orientale. — Nouvelles constructions de l'usine à gaz de Kœnigsberg.

Bibliographie. — Les machines marines par C. Busley. — Construction et conduite des chaudières marines, par C. E. Stromeyer.

Revue. — Emploi de la fonte dans la construction des surchauffeurs. — Appareils de sûreté pour surchauffeurs. — Grue flottante pour le port de Santos. — Le tunnel du Simplon, — Explosions de chaudières dans l'empire allemand en 1900.

N° 41. — *13 octobre 1901.*

Exposition universelle de 1900. — Les pompes, par M. F. Gutermuth.

Exposition internationale de Glasgow, en 1901. — La construction des navires et des machines marines *(fin).*

Voiture de chemins de fer à grande vitesse de Siemens et Halske, à Berlin, par W. Reichel *(fin).*

Les machines agricoles à la 14me exposition de la Société allemande d'agriculture, à Posen, par M. Grundke *(fin).*

Groupe de Westphalie. — Les signaux dans l'exploitation des chemins de fer.

Revue. — Installation hydraulique de chargement des charbons du Taff. Vale Railway. — Explosions de chaudières dans l'empire allemand, en 1900 *(fin).*

N° 42. — *20 octobre 1901.*

Expériences sur les relations de la résistance et de la fragilité du bronze avec la température, par C. Bach.

Exposition universelle de 1900. — Appareils de levage, par Kammerer *(suite).*

Perforatrice électrique à solénoïde pour pierre dure, par E. Heubach,

Jean Leurechon (Jésuite et mécanicien français du XVIIe siècle), par Th. Beck.

Frottement des tourillons, par von Camerer.

Groupe de Francfort. — Nouveautés dans la technique des machines-outils.

Groupe de Hanovre. — Nouveautés dans les moteurs à gaz.

Groupe de Poméranie. — Calcul des hélices pour la propulsion des navires.

Revue. — Grue tournante de 150 *t* des chantiers de Howaldt. — Installation électrique de force des hauts fourneaux de la Julienhütte. — Ventilateur Sirocco.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

Ire SECTION

Le chemin de fer métropolitain de Paris, par M. A. Dumas (1).

La question du métropolitain parisien n'est pas nouvelle pour les membres de notre Société, car l'établissement d'un chemin de fer intérieur dans Paris a, depuis 1872, été fréquemment traité dans nos séances. Ce n'est que récemment, comme on sait, que cette importante question a reçu une solution.

Notre Collègue, M. A. Dumas, avait donné dans le *Génie Civil* une série d'articles sur l'exécution des travaux de la première partie du métropolitain en exploitation depuis l'année dernière; il a eu l'heureuse idée de refondre ces articles, d'y ajouter de nouveaux documents et d'en faire l'intéressant ouvrage que nous sommes heureux de présenter aujourd'hui à nos lecteurs.

Après un aperçu historique sur la question qui remonte en réalité à un demi-siècle, puisque dès 1856 Brame et E. Flachat proposaient le raccordement du centre de Paris à la circonférence par un chemin de fer souterrain destiné à assurer l'approvisionnement des Halles Centrales, l'auteur donne la description générale du réseau projeté, basé sur l'étude faite par les Ingénieurs de la Ville et qui a été l'objet d'une concession sanctionnée par la loi déclarative d'utilité publique, du 30 mars 1898.

Le réseau concédé se compose de 6 lignes d'une longueur totale de 65 *km* en nombre rond devant coûter 150 millions de francs, et le réseau projeté dont le Conseil municipal poursuit actuellement la déclaration d'utilité publique comprendra deux autres lignes d'une longueur collective de 13,5 *km*, estimées 52 millions.

On trouve dans l'ouvrage dont nous nous occupons les renseignements les plus détaillés sur le tracé, les profils en long, la voie et les stations de la ligne actuellement exécutée du Cours de Vincennes à la place de l'Étoile, avec prolongements vers la Porte Maillot, la Porte Dauphine et le Trocadéro, deux de ces prolongements appartenant à deux des autres lignes. La longueur totale en exploitation est de 14 *km*.

La question du prix de revient et du mode d'exécution des travaux y est traitée avec tous les développements nécessaires. Nous trouvons ensuite les détails sur les signaux dont l'importance est capitale vu la nature du service et l'intensité du trafic, sur le matériel roulant et l'usine électrique de Bercy comportant quatre groupes électrogènes dont trois fournissent du courant triphasé et un du courant continu.

La vapeur est fournie aux machines motrices de ces quatre groupes

(1) In-8° 240 × 160 de 183 p. avec 105 fig. et 7 pl. Paris, Le *Génie Civil* et Ch. Béranger, 1901.

par trois groupes de chacun six générateurs du système semi-tubulaire d'une surface de chauffe collective de 4 400 m^2.

L'auteur s'occupe ensuite de l'exploitation et donne des détails circonstanciés sur l'organisation du service, le personnel, la distribution des billets, le trafic et les recettes. Il est intéressant de noter que le trafic total du Métropolitain du 19 juillet 1900 au 31 mai 1901 a été de 40 millions de voyageurs transportés ayant donné lieu à une recette de 6.141.000 *f*. Ce trafic dépasse le plus fort trafic réalisé jusqu'ici sur les voies ferrées. Le coefficient d'exploitation est d'environ 42 0/0.

M. Dumas décrit ensuite la ligne actuellement en construction de l'Étoile à la place de la Nation et qui, comme on sait, est partie en souterrain et partie en viaduc; on trouve dans cette description de très intéressants détails sur l'exécution des travaux qui ont donné lieu à d'importantes déviations d'égouts et de conduites d'eau.

L'ouvrage se termine par un aperçu sur le programme général d'exploitation qui a dû être adopté en modification du programme primitif par suite de la substitution de l'exploitation en navette à l'exploitation par circuits fermés, la première ayant l'avantage de ne pas nécessiter de nombreux aiguillages dont le parfait fonctionnement exigerait une attention incessante.

Les explications sont facilitées par la présence de plus de 100 figures et phototypies dans le texte et sept grandes planches.

Le livre, dont nous venons de faire une analyse sommaire, sera lu avec le plus grand intérêt par toutes les personnes qui désirent se faire une idée exacte du travail gigantesque qui a pour objet de faciliter les communications dans Paris en réduisant dans une large mesure la circulation à niveau du sol qui est incompatible avec un trafic intense, rapide et suffisamment sûr.

A. MALLET.

Schweizerische Bergbahnen *(Chemins de fer de montagnes en Suisse)* (1).

Le Comité de l'Association des Anciens Élèves de l'École Polytechnique de Zurich a bien voulu, par l'organe de son président, M. O. Sand, membre de la Direction générale des Chemins de fer fédéraux, et de son secrétaire, M. H. Paur, l'un de nos correspondants en Suisse, offrir à la bibliothèque de notre Société un très bel ouvrage, récemment publié à Zurich par l'Institut Polygraphique, sous le titre : « Schweizerische Bergbahnen » ou en français : Chemins de fer de montagnes en Suisse.

On sait que la Suisse est la terre classique des chemins de fer de montagnes; ceux-ci s'y sont, en effet, singulièrement développés depuis l'ouverture du premier chemin de fer du Rigi en 1871.

L'introduction de l'ouvrage que nous présentons ici donne des chiffres intéressants à ce sujet. On y voit que, à la fin de 1900, la longueur totale des chemins de fer de toute nature présentant des déclivités supérieures à celles des lignes ordinaires et allant de 50 à 630 0/0, est de 285 674 *m*

(2) in-4°, 350 × 260, de XI-178 p., avec 239 fig. Zurich, Institut Polygraphique, 1901.

et le prix d'établissement de 65,5 millions de francs; les recettes totales annuelles atteignent 6,5 millions de francs, soit 10 0/0, en moyenne, du prix de construction.

Les chemins de fer de montagnes se divisent en lignes à adhérence, lignes à crémaillère, lignes mixtes, c'est-à-dire partie à adhérence et partie à crémaillère, et funiculaires. Les trois premières classes, au nombre de 22, d'un développement total de 263,6 *km*, emploient 124 locomotives, dont 105 à vapeur et 19 électriques; les funiculaires sont au nombre de 25, leur longueur totale est de 22 *km*; ils sont mus, en majorité, 14, par la gravité (contrepoids d'eau), 10 par l'électricité, et un seul, le Lausanne-Ouchy, directement par une turbine. Un tableau donne les conditions principales d'établissement et d'exploitation de ces diverses lignes.

L'ouvrage lui-même renferme la description technique et pittoresque d'un certain nombre de chemins de fer de montagnes, vingt-trois, pour préciser.

Nous trouvons d'abord les deux chemins de fer du Rigi, celui de Vitznau, la première ligne à crémaillère établie en Europe, et celui d'Arth, la ligne à adhérence de l'Uetliberg, dont la déclivité atteint près du terminus supérieur 70 0/00, la ligne à crémaillère de Rorschach à Heiden près du lac de Constance, le funiculaire Lausanne-Ouchy, le premier funiculaire établi en Suisse et dont la mise en exploitation date de mars 1877.

Viennent ensuite le funiculaire du Burgenstock à traction électrique, la ligne du Pilate avec sa double crémaillère engrenant avec des pignons à axes verticaux, le funiculaire du Beatenberg, le chemin de fer à crémaillère du Salvatore, près de Lugano, les chemins de fer mixtes de l'Oberland, comprenant les deux lignes Interlaken-Lauterbrunnen et Zweilutschinen-Grindelwald, la ligne entre Lauterbrunnen et Mürren formée du funiculaire à contrepoids d'eau de Lauterbrunnen à Grütschalp, de 1 217 *m* de longueur, rachetant 669,50 *m* de différence de niveau avec une déclivité maxima de 600 0/00, et du tramway électrique de Grütschalp à Mürren, le chemin de fer à crémaillère de la Schynige-Platte, près d'Interlaken, le chemin de fer mixte de Viege à Zermatt, partant de la vallée du Rhône, le chemin de fer à crémaillère de Brienz au Rothhorn, le funiculaire de Rheineck à Walzenhausen, dans le voisinage de l'extrémité sud-est du lac de Constance, et le chemin de fer à crémaillère de la Wengernalp qui réunit les stations de Lauterbrunnen et de Grindelwald des chemins de fer de l'Oberland; on sait que c'est de la station de la petite Scheidegg de cette ligne, station située à 2 064 *m* d'altitude, que part le chemin de fer de la Jungfrau.

Nous trouvons encore la description du funiculaire du Stanserhorn, qui est en réalité formé de trois funiculaires placés bout à bout pour racheter l'énorme différence de niveau de 1 398 *m* sur un développement de 3 626 *m*, la déclivité maxima étant de 630 0/00, la plus forte atteinte jusqu'ici sur les funiculaires suisses. Nous avons, du reste, donné la description de cette ligne dans la Chronique de février 1894; nous nous bornerons à rappeler que c'est le premier funiculaire à forte déclivité où on ait osé abandonner la crémaillère comme moyen de

retenue pour employer des freins à griffe agissant sur les champignons des rails, du genre de ceux du chemin de fer de la Croix-Rousse.

Suit la description du petit funiculaire de la Dolder, combiné avec un tramway électrique pour desservir un chalet restaurant et un immense hôtel situé au bord d'une forêt, dans le voisinage immédiat de la ville de Zurich, celle du chemin de fer électrique à crémaillère du Gornergrat, qui part de Zermatt et atteint l'altitude de 3 019 *m*, la plus élevée où le rail soit parvenu jusqu'ici en Europe; la différence de niveau franchie est de 1 412 *m* sur 9 100 *m* de développement, avec une déclivité maxima de 200 0/00.

Une place importante est consacrée au chemin de fer électrique à crémaillère de la Jungfrau, en construction, exploité actuellement sur 2 *km* de longueur entre les stations de la petite Scheidegg et du glacier de l'Eiger à 2323 *m* d'altitude. On sait que cette ligne doit atteindre son point culminant à 4 166 *m*.

La description du chemin de fer électrique à crémaillère de Stansstad à Engelberg, du funiculaire de la chute du Reichenbach et du funiculaire de Lausanne-Signal termine l'ouvrage.

L'énumération sèche et aride que nous venons de faire ne donne, assurément, qu'une idée très imparfaite du travail dont nous nous occupons. Nous engageons donc ceux de nos Collègues que la question intéresse à en prendre connaissance; ceux qui lisent l'allemand le consulteront avec profit, les autres ne perdront pas leur temps, ce livre est en effet, merveilleusement illustré, il renferme 330 phototypies, cartes, figures, dessins de machines et d'appareils, paysages, panoramas, etc., c'est un véritable ouvrage de luxe dont l'exécution matérielle fait le plus grand honneur à l'Institut Polygraphique de Zurich, qui l'a édité et aussi un don précieux duquel nous devons savoir beaucoup de gré à ses auteurs. A. MALLET.

IIe SECTION

Guide pratique pour les calculs de résistance des chaudières à vapeur et l'essai des matériaux employés, publié par l'Union internationale des Associations de surveillance d'appareils à vapeur, traduit sur la septième édition allemande, par G. HUIN, ancien élève de l'École Polytechnique, capitaine d'artillerie; et E. MAIRE, Ingénieur E. C. P., directeur de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord-Est; avec la collaboration de H. WALTHER MEUNIER, Ingénieur E. C. P., Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur (1).

Ainsi que le font remarquer les traducteurs dans leur préface, cet ouvrage est d'un usage universel en Allemagne pour tous ceux qui s'occupent de la construction des chaudières. Cet opuscule renferme, condensées en 63 pages, les règles les plus essentielles sur la façon

(1) in- de 200 $\times$ 130, de VI—67 p. avec 10 fig. Paris, Gauthier-Villars, 1901. Prix br. 2,75 *f*.

dont on doit choisir les matériaux et avec quels soins il faut les façonner.

Ce travail comprend deux grandes divisions qui sont :

Calculs de résistance des chaudières à vapeur ;

Essais des matériaux employés dans la construction des chaudières à vapeur.

La première division donne tous les chiffres et coefficients à utiliser dans les divers calculs de résistance.

Cette même division de l'ouvrage comporte les calculs des rivures, des assemblages par vis et boulons, des armatures, entretoises, traverses pour les ciels de foyers plats.

Les trous d'homme forment l'objet d'un paragraphe. Nous noterons en passant que cet ouvrage proscrit la fonte pour la tête et les tampons de trous d'homme.

Les auteurs donnent ensuite les calculs relatifs aux parois cylindriques dans les deux cas où la pression s'exerce intérieurement ou extérieurement, puis une série de tableaux concernant les épaisseurs usitées de tubes à fumée ; en outre, ils étudient les fonds plats et bombés.

Enfin les rédacteurs donnent de nouveaux tableaux relatifs aux épaisseurs des tôles des corps de chaudières, des faces planes et fonds emboutis pour les différents diamètres et pressions courantes et suivant qu'on emploie le fer soudé ou le fer fondu.

La deuxième division de l'ouvrage comprend deux parties : la première consacrée au fer soudé et la deuxième consacrée au fer homogène.

La première partie comporte la nature des épreuves à faire subir aux tôles, cornières, tubes, etc., puis une série de principes relatifs aux machines à essayer, à la préparation des éprouvettes, à la réception des matériaux. L'étude de la réception des matériaux comporte la désignation des qualités et les conditions à remplir pour chacune des qualités en usage dans la grosse chaudronnerie.

Quelques lignes sont consacrées à l'épreuve hydraulique des tubes.

La deuxième partie consacrée au fer homogène ou fer fondu est rédigée d'après le même plan que la partie consacrée au fer soudé.

Ch. Compère,
Directeur de l'Association parisienne des Propriétaires d'appareils à vapeur.

Les grands moteurs à gaz et l'utilisation des gaz de haut fourneau. — La théorie des moteurs à gaz, par M. Jules Deschamps, Ingénieur-Conseil, Ancien Élève de l'École Polytechnique (1).

Dans cet ouvrage, M. Jules Deschamps, dont nos Collègues n'ont pas oublié la communication sur les moteurs à gaz de hauts fourneaux, pré-

(1) Grand in-4° de 110 pages avec 74 figures. Prix : 7,50 *f.* Éditeur, Veuve Ch. Dunod, Paris.

sente une étude des moteurs à gaz de haute puissance, que fabriquent, avec un si grand succès, depuis quelques années, les premières maisons françaises, allemandes, anglaises et américaines.

Il étudie, en outre, l'emploi, avec ces moteurs, des gaz de haut fourneau et des fours à coke dont il explique l'économie. Une partie de l'ouvrage traite la question, à l'ordre du jour, de l'épuration des gaz de haut fourneau.

Enfin, dans cet ouvrage, M. Deschamps, appliquant les principes de la thermo-dynamique, tels que, notamment, M. Poincaré, les a magistralement exposés dans son Traité, établit une théorie des moteurs thermiques, sans avoir recours aux hypothèses, que l'on a été, jusqu'ici, obligé d'employer.

Il obtient, ainsi, deux relations principales, dont il déduit toute une série de conséquences importantes pour l'étude des moteurs à gaz ou à pétrole.

Cet ouvrage s'adresse à tous les industriels qui songent à transformer leur force motrice et à employer des moteurs à gaz; aux exploitants de mines, aux métallurgistes, ainsi qu'aux fabricants et aux usagers de petits moteurs et d'automobiles.

IIIe SECTION

Recherches minières, par M. Colomer (1).

Les explorateurs doivent ramener aux limites les plus réduites le petit bagage qu'ils emportent en partant en mission dans les pays neufs. aussi M. Colomer a-t-il eu l'idée et le mérite de réunir pour eux, dans un in-8° de 271 pages, tous les renseignements pratiques dont ils peuvent avoir besoin dans les régions lointaines où ils se rendent, renseignements qu'ils ne pourraient se procurer qu'en compulsant toute une bibliothèque. Son ouvrage, intitulé *Recherches minières*, répond donc bien à son sous-titre : *Guide pratique de prospection et de reconnaissance des gisements*.

Cet ouvrage est divisé en trois parties :

La première partie a pour objet de guider le prospecteur dans l'étude géologique des terrains et dans celle des espèces minérales, elle rappelle dans quelles conditions doit être fait un bon échantillonnage, dont le rôle est si important au point de vue de l'appréciation ultérieure de la valeur technique d'un gite et elle présente un résumé des analyses et essais auxquels les prises d'échantillons peuvent donner lieu.

Un chapitre est consacré à l'étude des affleurements et à l'exposé des travaux de recherche à faire, selon les gisements considérés : couches, filons ou amas, au moyen de fouilles, tranchées, galeries, fendues, travers-bancs et puits.

La seconde partie constitue un véritable traité du sondage, renfermant tous les développements que l'art du sondeur comporte dans ses appli-

(1) In-8° de 225 × 140, de VIII-271 p., avec 116 fig. Prix 7,50 *f*. Paris, Vve Ch. Dunod, 1901.

cations aux recherches souterraines et relatant les divers types d'appareils adoptés, selon la profondeur, mus à bras ou actionnés mécaniquement, procédant par tiges rigides, par tiges creuses, par cordes et agissant par percussion ou par rotation; l'auteur a réservé une place intéressante aux nouvelles sondeuses au diamant, en grande faveur en Amérique, et qui ont fait si bonne figure, l'an passé, à l'Exposition de Vincennes; il a également affecté plusieurs chapitres aux accidents survenant dans les sondages, à la recherche des eaux et du pétrole, et a fourni, enfin, des chiffres pratiques concernant la durée et le prix de revient, si variables, des travaux de sondage.

La troisième partie traite de l'étude économique des gîtes, point capital dont dépendra l'ouverture, à l'exploitation de la mine ou son abandon.

Après un chapitre consacré aux travaux topographiques de prospection, aux levés rapides et, notamment, aux levés photographiques, l'auteur passe à l'étude de l'appréciation de la valeur technique des gisements, aux moyens de calculer leur richesse probable et de supputer leurs bénéfices présumés, ces sujets, si délicats, dont la solution, donnée trop inconsidérément, peut compromettre la bonne réputation d'un Ingénieur.

En lisant l'ouvrage que vient de faire paraître M. Colomer, l'explorateur y trouvera des conseils, utiles à méditer, pouvant le guider dans l'étude de tous ces graves problèmes et les Ingénieurs des mines feront, eux aussi de leur côté, tout leur profit de nombreux chapitres, qui ont trait à l'objet de leurs préoccupations quotidiennes.

IVe SECTION

Cours d'économie politique, professé à l'École des Ponts et Chaussées, par M. Colson, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Conseiller d'Etat. — Encyclopédie Lechalas (1).

MM. Colson et Lechalas ont bien voulu offrir à la bibliothèque de notre Société, le tome premier, qui vient de paraître, de cet ouvrage considérable. Nous allons essayer de donner une idée des matières qui y sont contenues.

M. Colson expose dès le début que son livre, destiné à des élèves ingénieurs familiarisés avec les raisonnements mathématiques, peut serrer d'un peu près la théorie de la valeur et des prix, qui enveloppe tous les phénomènes économiques, mais qu'il s'est gardé de tomber dans l'application directe du calcul à ces phénomènes, laquelle lui parait reposer sur de simples illusions; en revanche, l'emploi des représentations graphiques, familières aux mathématiciens, rend des services dans des recherches de ce genre, en simplifiant et éclaircissant beaucoup d'explications.

L'économie politique a pour objet l'étude des lois qui président à la

(1) In-8°, de 255 × 165, de 596 p. Paris, Gauthier-Villars, 1901. Prix broché : 10 *f.*

production, à la répartition, à la circulation et à la consommation des richesses, en tant que ces lois découlent de la nature et du développement de l'esprit humain. Le point de départ, la production, dépend de trois facteurs qui sont : les agents naturels, le travail et le capital, et la production économique consiste à combiner ces trois facteurs de la façon la plus avantageuse.

L'ouvrage de M. Colson étudie, en détail, l'organisation de la production et la répartition des produits, la circulation des richesses et la consommation, avec ses caractères divers, puis passe à la théorie de la valeur et des prix, en examinant successivement les procédés employés pour rendre comparables les prix constatés à des époques diverses, dans l'impossibilité de trouver un étalon fixe pour l'appréciation de la valeur; on trouve, dans cette partie, des développements intéressants sur ce qu'on a appelé la méthode des nombres indicateurs; ici se place également l'étude du jeu de l'offre et de la demande, qui préside à la fixation des prix, mais suivant des lois qui varient beaucoup selon la nature des produits et selon le régime naturel ou légal de la production. On peut dire néanmoins que, si les prix réels, comme les flots de la mer, oscillent constamment autour d'un niveau théorique, l'étude de ce niveau n'en constitue pas moins le seul moyen de se rendre compte, dans un cas, de la forme des océans et du mouvement général des marées et, dans l'autre, des relations entre les prix et des mouvements généraux qui se produisent sur les marchés,

Vient ensuite l'étude du rôle de l'État dans ses attributions essentielles comme chargé d'assurer la sécurité publique, ce qu'il ne peut faire qu'en se procurant des ressources par l'impôt et comme entrepreneur de services publics, étude qui conduit à celle des déviations du rôle de l'État qui peuvent prendre diverses formes, notamment la tentative de modification de la répartition des richesses et la substitution de son autorité à l'initiative des particuliers, pour la gestion de toutes les entreprises et pour le partage des produits qu'elles fournissent. Le livre premier dont nous nous occupons ici, se termine par des considérations sur le progrès économique, ses causes et ses effets sur le développement de la richesse publique, effets qui ne sont pas toujours dans le sens positif, car ceux des transformations trop rapides se traduisent parfois par des conséquences fâcheuses, au moins momentanément.

Le second livre traite du travail et des questions ouvrières, de la population, des salaires, des divers modes de rémunération du travail, de la réglementation du travail et des rapports entre patrons et ouvriers, toutes questions plus que jamais d'actualité. L'auteur est amené dans cette partie à traiter des points si importants en relation avec le mouvement effectif de la population, savoir : la natalité, la mortalité, l'émigration, l'immigration et la nationalité, enfin, la variation et la densité de la population dans les divers pays. Il fait remarquer, à ce sujet, que ce n'est guère que dans les pays où le développement de la civilisation moderne est encore récent que l'on constate un excès de natalité dont les effets sont en partie compensés par une mortalité excessive. Une progression de la population, sensible sans être excessive, constitue économiquement l'état le plus désirable et il est bon qu'elle soit l'effet

d'une réduction de la mortalité, plutôt que d'une natalité excessive. Si la natalité baisse, le développement par l'immigration, à condition de s'assimiler les immigrants, vaut mieux, pour un peuple, que l'état stationnaire.

Ce livre se termine par l'étude des assurances sociales, leurs caractères, leur objet, leurs avantages et leur fonctionnement, de la charité privée et de l'assistance publique destinées à combattre la misère, dont les causes et les formes sont l'objet d'un examen approfondi, et enfin des développements relatifs à l'amélioration du sort des travailleurs et les moyens à employer pour la produire par l'action de l'initiative individuelle, celle des patrons ou l'intervention de l'État.

De grands progrès ont été réalisés déjà dans cet ordre d'idées, et il est impossible, même aux partisans des doctrines subversives de l'ordre social actuel, d'en contester l'importance. Il y a certainement beaucoup à faire encore, mais, dit M. Colson, la situation actuelle amenée par l'esprit d'invention et d'épargne et le développement de l'initiative privée, sous un sage régime de liberté des transactions, est infiniment préférable aux aléas que comporteraient soit les bouleversements sociaux dont on parle si souvent, soit même l'extension considérable de l'intervention de l'État dans la vie économique.

Nous nous proposons de rendre compte des autres volumes de cet ouvrage lors de leur publication, mais nous croyons devoir, dès à présent, appeler tout spécialement l'attention de nos Collègues sur ce livre où ils trouveront les notions les plus complètes relatives à toutes les questions économiques dont aucun Ingénieur ou industriel ne saurait se désintéresser à l'heure actuelle.

A. Mallet.

Le Gérant, Secrétaire Administratif,

A. de Dax.

Imprimerie Chaix, rue Bergère, 20, Paris. — 19570-10-01. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

NOVEMBRE 1901

N° 11

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de novembre 1901, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

Ministère de l'Agriculture. Bulletin (Annexe). Direction de l'Hydraulique agricole. Documents officiels. Statistique. Rapports. Fascicule Z (in-8°, 280 × 185, de 427 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41339

SALOMON (J.). — *Notice sur la nouvelle Charrue à trois effets* « *La Française* », par M. Julius Salomon (in-8°, 235 × 145, de 6 p.). Agen, 31 décembre 1899 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41307

SIDERSKY (D.). — *Rapport sur les Emplois industriels de l'Alcool à l'Exposition agricole de Halle-sur-Saale (Allemagne)*, par D. Sidersky (Extrait du Bulletin du Ministère de l'Agriculture. 1901. N° 4) (in-8°, 265 × 175, de 51 p., avec 19 fig. et 2 tabl.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901 (Don de M. L. Périssé, M. de la S., de la part de l'auteur). 41318

Arts militaires.

Tables analytiques et alphabétiques de la Revue d'Artillerie d'Octobre 1872 à Septembre 1895. Annexe N° 6. Matières contenues dans les Tomes 57 et 58, d'Octobre 1900 à Septembre 1901 (in-8°, 220 × 140, de 24 p.). Paris, Berger-Levrault et Cie, 1901. 41300

Astronomie et Météorologie.

Annuario publicado pelo Observatorio do Rio de Janeiro para o anno de 1901. Anno XVII (in-16, 185 × 130, de IX-299 p.). Rio de Janeiro, Imprensa nacional, 1901. 41336

NEUPERT (K.). — *Mechanik des Himmels und der Moleküle. Aufbau eines Weltsystems aus dem Aether mit Beweis der Unrichtigkeit der Kopernikanischen Anschauungen, sowie Nachweis der Zusammengesetzten Struktur der chemischen Elemente*, von Karl Neupert (in-8°, 215 × 140, de 31 p. avec 1 pl.). Bamberg, Gedruckt in der Handels-Druckerei (Don de l'auteur). 41338

Chemins de fer et Tramways.

BIARD (E.). — *Étude sur la Statistique comparée des Ruptures et Avaries de bandages et de roues pleines en une seule pièce des Chemins de fer de l'Union Allemande, pendant les années 1887 à 1896*, par M. E. Biard (Extrait de la Revue générale des Chemins de fer et des Tramways. Numéro d'Octobre 1901) (in-4°, 320 × 225 de 57 p. avec 41 graph. et 32 tabl.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41308

MAUGUIN. — *Le Chemin de fer électrique de Berthoud à Thoune*, par M. Mauguin (Extrait de la Revue générale des Chemins de fer et des Tramways. Numéro de Septembre 1901) (in-4°, 320 × 225, de 18 p. avec 13 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41305

RUELLE (J. DE LA). — *Régime des Embranchements particuliers*, par Jean de la Ruelle (Législation des Chemins de fer) (in-8°, 250 × 160, de 72 p.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1902 (Don de l'éditeur). 41334

Chimie.

BESSON (H.). — *L'état actuel de nos connaissances sur la Conservation des bois. Conservation des bois par le procédé Rütgers*, par H. Besson (Extrait d'un Mémoire paru au Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France et d'une Conférence faite par M. H. Besson, à cette même Société, le 19 juillet 1901, et de la Revue de Chimie pure et appliquée. Tome IV. Numéro 15. Septembre 1901) (in-8°, 275 × 190, de 27 p. avec 23 fig.). Paris, Bureaux de la Revue et du Répertoire, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41294

Musée centennal de la classe 87. Arts chimiques et Pharmacie, Matériel, procédés et produits à l'Exposition Universelle internationale de 1900 à Paris. Les Chimistes du XIXe siècle (in-8°, 295 × 200, de 242 p. avec illustrations et reproductions photographiques de divers chimistes). Saint-Cloud, Belin frères (Don du Comité d'installation de la classe 87). 41295

Construction des Machines.

Annual Report of the Chief of the Bureau of Steam Engineering, 1901 (in-8°, 230 × 145 de 70 p.). Washington, Government Printing Office, 1901. 41322

Association des Propriétaires d'Appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise. Instructions sur la conduite et l'entretien des chaudières à vapeur à l'usage des chauffeurs (une feuille 645 × 500). Amiens, T. Jeunet, 1901 (Don de M. E. Schmidt, M. de la S.). 41313

Baudry de Saunier (L.). — *Éléments d'Automobile. Voitures à vapeur, Voitures à pétrole, Voitures électriques*, par L. Baudry de Saunier (in-8°, 205 × 140, de 192 p. avec 29 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod (Don de l'éditeur). 41332

La Mécanique à l'Exposition de 1900, 14e livraison. Huitième livraison dans l'ordre d'apparition. Le Matériel agricole, par Max Ringelmann (in-4°, 320 × 225, de 224 p. avec 363 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, Septembre 1901 (Don de l'éditeur). 41297

Pierre-Guédon. — *Essais de vaporisation de chaudières et de consommation de machines à vapeur*, par Pierre-Guédon (Extrait du Bulletin technologique, Numéro 9, de Septembre 1901, de la Société des Anciens élèves des Écoles Nationales d'Arts et Métiers). Paris, Imprimerie Chaix, 1901. 41299

Richard (G.). — *Conférence sur la Machine-Outil moderne*, faite au Congrès de Mécanique appliquée, le 23 juillet 1900, par M. G. Richard (Extrait des Comptes rendus du Congrès de Mécanique appliquée. Tome III) (in-4°, 330 × 250, de 72 p. avec 114 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1901 (Don de l'éditeur). 41340

The Manchester Steam Users' Association. Memorandum by Chief Engineer, presented at the Annual Meeting of the General Body of the Members, held on Tuesday, June 18th 1901 (in-8°, 245 × 155, de 32 p.). Manchester, Taylor, Garnett, Evan and Co Limited, 1901. 41319

Économie politique et sociale.

Cauderlier (G.). — *Les causes de la Dépopulation de la France. Étude présentée à la Société d'Anthropologie de Paris*, par G. Cauderlier (in-18, 180 × 125, de 69 p.). Paris, Guillaumin et Cie, 1901 (Don de l'éditeur). 41330

Congrès international pour l'Unification des titres de l'or et de l'argent, tenu à Paris, du 11 au 13 juin 1900. Procès-verbaux in extenso (Exposition Universelle internationale de 1900) (in-8°, 240 × 160, de 92 p.). Paris, Typographie A. Davy, 1900 (Don de M. E. Gilbert). **41302**

MARCH (L.). — *La distribution des Entreprises selon leur importance*, par Lucien March (Communication faite à la Société de Statistique de Paris, séance du 15 mai 1901) (in-8°, 280 × 180, de 32 p.). Nancy, Berger-Levrault, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). **41292**

VUILLOT (P.). — *Rapport sur l'Arbitrage et la Conciliation dans les Conflits collectifs*, par P. Vuillot (Chambre syndicale des Fabricants de robinetterie, tourneurs en cuivre) (in-8°, 230 × 155, de 106 p.). Paris, 3, rue de Lutèce, 1901 (Don de l'auteur). **41346**

Électricité.

ARMAGNAT (H.). — *Instruments et Méthodes de Mesures électriques industrielles*, par H. Armagnat. Deuxième édition revue et complétée (Bibliothèque technologique) (in-8°, 230 × 140, de III-615 p. avec 228 fig.). Paris, C. Naud, 1902 (Don de l'éditeur). **41333**

CLAUDE (G.). — *L'Électricité à la portée de tout le monde*, par Georges Claude. *Courant continu. Courants variables. Courants alternatifs, simples et polyphasés*. Deuxième édition revue et considérablement augmentée (in-8°, 250 × 165, de 360 p. avec 189 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1902. **41314**

MARTIN (H.). — *Production et distribution de l'énergie pour la Traction électrique*, par Henry Martin (in-8°, 250 × 165, de 749 p. avec 869 fig.). Paris, Ch. Béranger, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). **41291**

Prescriptions de Sécurité relatives aux Installations électriques à courant fort, publiées par l'Association des Électrotechniciens allemands (Verband Deutscher Electrotechniker). Traduites par G. Stadler. *Section I. Basse tension. — Section II. Moyenne tension. — Section III. Haute tension* (3 brochures, 160 × 105, de 34 p., 29 p. et 24 p.). Gand, Ad. Hoste, 1901 (Don de Mme Vve Ch. Dunod). **41341 à 41343**

Société des Accumulateurs GLM. Statuts (in-8°, 240 × 155, de 25 p.). Paris, R. Veneziani, 1901. **41329**

TURPAIN (A.). — *Les applications pratiques des Ondes électriques. Télégraphie sans fil, Télégraphie avec conducteur. Éclairage. Commande à distance*, par Albert Turpain (Bibliothèque technologique) (in-8°, 230 × 140, de 412 p. avec 271 fig.). Paris, Ch. Naud, 1902 (Don de l'éditeur). **41309**

Enseignement.

R. Università Romana. Scuola d'Applicazione per gl'Ingegneri. Annuario per l'anno scolastico 1901-1902 (in-32, 140 × 100, de 157 p.). Roma, Tip. della R. Accademia dei Lincei, 1901. 41318

Législation.

American Institute of Mining Engineers, Officers, Members, Rules, etc. October 1, 1901 (in-8°, 235 × 150, de 117 p.). Philadelphia, Sherman and C°, 1901. 41321

Annuaire de l'Association internationale pour la Protection de la Propriété industrielle. 4e année, 1900. 4e Congrès, Paris, juillet 1900 (in-8°, 230 × 150, de LI-496 p.). Paris. H. Le Soudier, 1901. 41337

VIGNES (E.). — *Manuel pratique et juridique du Commerçant et de l'Industriel. — Droits et Devoirs. — Us et Coutumes; comprenant huit chapitres*, par Emmanuel Vignes (in-8°, 200 × 130, de XVI-426 p.). Paris, Gaultier. Magnier et Cie, 1902 (Don de l'auteur). 41320

Métallurgie et Mines.

BROWN (M. W.). — *Mechanical Ventilators*. Report of the Committee of the North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers and the Midland Institute of Mining, Civil, and Mechanical Engineers, by M. Walton Brown (The Institution of Mining Engineers) (in-8°, 230 × 150, de 96 p., avec 17 pl.), London and Newcastle-upon-Tyne, Andrew Reid and C°, 1900 (Don de l'auteur). 41301

COLOMER. — *L'Industrie minière en Chine*, par M. Colomer (Extrait de la Chine nouvelle) (Extrait du Bulletin de l'Association amicale des Élèves de l'École nationale supérieure des Mines) (in-8°, 240 × 160, de 8 p.). Lille, Imprimerie Lefebvre-Ducrocq, 1901 (Don de l'auteur). 41317

Comité central des Houillères de France. Réponse au questionnaire adressé le 25 juillet 1901 par la Commission de la durée du travail dans les mines (in-4°, 270 × 215, de 73 p.). Paris, Comité central des Houillères de France. Octobre 1901 (Don du Comité central des Houillères de France). 41293

DUTREUX (Aug.). — *Utilisation directe des Gaz des hauts fourneaux dans les Moteurs à explosion*, par Aug. Dutreux (Extrait du journal Le Génie Civil) (in-8°, 240 × 155, de 58 p., avec 38 fig.). Paris, Publications du journal Le Génie Civil, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41331

LAUR (F.). — *Etude complète du Bassin ferrifère de Briey et la formation ferrugineuse Lorraine*, par Francis Laur (Les Mines et Usines au XXe siècle) (in-8°, 250 × 165, de 96 p., avec une carte). Paris, Société des Publications scientifiques et industrielles, 1901 (Don de l'auteur). 41306

VATTIER (Ch.). — *Apuntes sobre las Condiciones de Chile para la Instalacion de la Metalurjia del Hierro*, por Ch. Vattier (in-16, 165 × 95, de 42 p.). Santiago de Chile, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41349

VATTIER (Ch.). — *Apuntes sobre la Mineria i Metalurjia de Chile. Sus ultimos progresos. Sus mejoras posibles*, por Ch. Vattier (in-16, 165 × 95, de 80 p.). Santiago de Chile, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41350

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

BERTIN (L.-E.). — *Étude sur le Chavirement. Deutschland, Résultats d'Expériences sur un modèle décomposable exécutées en mars 1901*, par L.-E. Bertin (1 feuille, 540 × 455) (Don de M. L.-E. Bertin, M. de la S.). 41335

TCHARNOMSKII (V. I.). — *Ke voprostch o zachtchitié ote navodneni S. Peterbourgha pospedstvóme dambe ou Kronchtadta*, ve V. I. Tcharnomskii (in-8°, 240 × 160, de 18 p.), 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41316

TCHARNOMSKII (V. I.). — *Promiérii ghltchbine i izmiérenié skorostei ve Nevié na miéstié raspolojeniia predpolaghaemagho Okhtenskagho mosta ve Peterbourghié*, ve V. I. Tcharnomskii (in-8°, 240 × 160, de 20 p., avec 3 pl.), 1900 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41315

Sciences morales. — Divers.

REY-PAILHADE (J. DE). — *Principes de l'emploi de la Division décimale du jour aux Mesures électromagnétiques*, par M. J. de Rey-Pailhade (in-8°, 245 × 160, de 12 p.). Toulouse, Lagarde et Sebille, 1901 (Don de l'auteur). 41303

REY-PAILHADE (J. DE). — *Unification des Mesures angulaires pour les cartes de l'armée de terre et pour les cartes de la marine*, par M. J. de Rey-Pailhade (Congrès de géographie de Nancy, 1-5 août 1901 (in-8°, 245 × 160, de 15 p.). Toulouse, Lagarde et Sebille, 1901 (Don de l'auteur). 41304

Technologie générale.

Bulletin de la Société industrielle de l'Est. Fascicule unique, 19 décembre 1900 au 10 juillet 1901 (in-8°, 245 × 155, de 143-91-XXXV p.). Nancy, Pierron et Hozé, 1901. 41347

Description des Machines et Procédés pour lesquels des Brevets d'Invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie. *Publication in extenso, 1899. 8e partie 291 279 à 292 001* (in-8°, 255 × 160). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41312

Description des Machines et Procédés pour lesquels des Brevets d'Invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie. *Publication in extenso, 1899, 9e partie 292002 à 292782* (in-8°, 255 × 160). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41323

Description des Machines et Procédés pour lesquels des Brevets d'Invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie. *Publication in extenso, 1899, 10e partie, 292783 à 293646* (in-8° 250 × 160). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41345

International Engineering Congress Glasgow 1901. Abstracts to Papers to be Read. Sections I to IX. (Private Proof. Confidential until Read) (9 brochures in-8°, 205 × 135.) Glasgow, William Asher, 1901. (Don de M. P. Regnard, M. de la S.) 41356 à 41364

International Engineering Congress Glasgow 1901. Corrected Reprint of Programme 3rd, 4th, and 6th, September 1901 (in-8°, 200 × 125, de 40 p.). Glasgow, William Asher, 1901 (Don de M. P. Regnard, M. de la S.). 41353

International Engineering Congress Glasgow 1901. List of Foreign Delegates and Honorary Members (in-8°, 195 × 125, de 18 p.). Glasgow, William Asher, 1901 (Don de M. P. Regnard, M. de la S.). 41354

International Engineering Congress Glasgow September 1901. Illustrated Guide to Excursions (in-4°, 250 × 185, de 48 p., avec illust.). Glasgow, Maclure, Macdonald and C°, 1901 (Don de M. P. Regnard, M. de la S.). 41355

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers; with other selected and abstracted Papers. Vol. CXLVI, 1900-1901. Part. IV (in-8°, 220 × 140, de vi-396 p., avec 3 pl.). London, Published by the Institution, 1901. 41310

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Subject Index. Vols. CIX to CXLVI. Sessions 1894-95 to 1900-1901 (in-8°, 215 × 140, de 122 p.). London, Williams Clowes and Sons. 41311

Register van het Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs, 1894-1900 (in-4°, 320 × 240, de 31 p.) s'Gravenhage, J. et H. van Langenhuysen, 1901. 41296

Revue Technique de l'Exposition Universelle de 1900. Deuxième partie. Matériel et Procédés généraux de la Mécanique. Tome II, 1er Fascicule (in-8°, 280 × 190, de 128 p., avec 66 fig.). — *Quatrième partie. Génie Civil. Tome II, 1er Fascicule* (in-8° 280 × 190, de 223 p., avec 22 fig. et Atlas, 340 × 280, planches 14 à 18. *2e Fascicule, Tome II*). — *Septième partie. Mines et Métallurgie. Tome I, 1er Fascicule* (in-8°, 280 × 190, de 260 p., avec 114 fig. et Atlas, 340 × 280, planches 1 à 11, *1er Fascicule, Tome I*). Paris, E. Bernard et Cie, 1901 (Don de l'éditeur). 41324 à 41328

Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. XXXIXe Assemblée générale, Fribourg, 1901, Album de Fête (in-f°, 400 × 300, de 80 p., avec 32 pl.). Fribourg, Josué Labastrou, 1901 (Don de M. Gremaud, Président de la Société Fribourgeoise des Ingénieurs et des Architectes). 41344

Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. XXXIX[e] Assemblée générale à Fribourg, les 24, 25, 26 août 1901. Discours d'ouverture. La Construction dans le canton de Fribourg, de 1864 à 1900, par Am. Gremaud (in-8°, 230 × 155, de 23 p.). Zurich, Zürcher et Furrer, 1901 (Don de l'auteur). 41351

Transactions of the Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland. Volume XLIV. Forty fourth session 1900-1901 (in-8°, 220 × 135, de VIII-406 p., avec 15 pl.). Glasgow, Published by the Institute, 1901. 41352

Travaux publics.

Annales des Ponts et Chaussées. 1[re] partie. Mémoires et documents. 71[e] année, 8[e] série. 1[re] année 1901, 2[e] trimestre (in-8°, 250 × 165, de 432 p., avec pl. 5 à 8). Paris, E. Bernard et C[ie], 1901. 41298

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de novembre 1901, sont :

Comme Membres Sociétaires, MM. :

M.-L.-A. Algrin, présenté par MM. D.-A. Casalonga, D. Casalonga, Duplaix.
H.-A. Bertin, — Bouillette, Faget, Rouquier.
M.-M.-P. du Bois d'Aubervillle, Baignères, Bunel, Sacquin.
A. Combet de Larenne, Carimantrand, Lartigue, de Dax.
V. Couallier, — G. Robert, Burguion, Forgue.
F.-X. Delauzun, — Bazen, Héroult, Papin.
J. Garin, — Bochet, Derennes, F. Fouché.
G.-L. Gauthier, — Béranger, Mesureur, Roche.
P.-J.-B. Guillot, — Escande, Nozal, Sohier.
P.-L. Henriot, — Darras, J. Delaunay, Estève.
G. Humruz, — Ducloux, P. Fleury, Heurtematte.
S. Lacombled, — Doat, L. de Lavallée Poussin, de Dax.
A.-L.-P. Malliary, — Armengaud jeune, E. Fouché, G. Forgue.
P. Pedrazzi, — Lavergne, Morin, de Vésine-Larue.
E. Pionnier, — Bodin, Buquet, Imber.
S.-L. Ravier, — Bougault, Calliatte, Giros.
S. Sotomayor, — de Lavallée Poussin, Vautelet, de Dax.
Ch.-H. Straw, — Lavergne, Morin, de Vésine-Larue.
A.-A. Villard, — G. Dumont, Bodin, D.-A. Casalonga.
R.-F.-A. de Weck, — De Muralt, Ritter, de Tscharner.

Comme Membres Associés, MM. :

Ch.-H. Baillet, présenté par MM. Ducloux, P. Fleury, Heurtematte.
N. Boncourt, — Éliet, A. Julien, de Dax.
E.-H. Coignart, — Lavergne, Morin, de Vésine-Larue.
J. de Dusmet, — Gallais, Falconnet, Vuillaume.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE NOVEMBRE 1901

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 8 NOVEMBRE 1901

PRÉSIDENCE DE M. CH. BAUDRY, PRÉSIDENT

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret d'annoncer à la Société le décès de :

M. J.-V. Blanleuil, Membre de la Société depuis 1863, qui a été Chef de section de la Compagnie des Charentes, ligne de Roquefort à Angoulême ;

M. le Baron J. Engerth, Membre de la Société depuis 1880, ancien élève de l'École Polytechnique de Vienne, qui fut ancien Ingénieur attaché à la Compagnie des Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, et Ingénieur Inspecteur principal de la Société Autrichienne-Hongroise privilégiée des Chemins de fer de l'État.

M. LE PRÉSIDENT présente à la famille de nos regrettés Collègues l'expression des sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer à la Société les décorations suivantes. Ont été nommés :

Officier de l'Instruction publique : M. C. Georgin ;

Officiers du Mérite agricole : MM. A. Bethouart et F. Dehaitre ;

Chevalier du Mérite agricole : M. E. F. Chardon.

Il adresse les félicitations de la Société à nos Collègues.

A ce propos, M. le Président signale une erreur dans le procès-verbal de la dernière séance :

M. P. Arbel est porté dans la 3e classe de l'Ordre de Saint-Stanislas de Russie, alors que c'est l'Ordre de Sainte-Anne de Russie, 3e classe, qui lui a été conféré.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans le prochain Bulletin.

M. le Président rappelle l'avis inséré au *Journal Officiel* du 25 octobre 1901, au suiet d'un concours ouvert pour des emplois de chefs de sections au Laboratoire d'essais du Conservatoire National des Arts et Métiers.

Il signale, aux Membres de la Société, l'importance de ces emplois qui ne peut qu'aller en grandissant.

M. le Président informe ses Collègues que le Comité, dans sa réunion d'aujourd'hui, a décidé d'ouvrir, à titre d'essai et jusqu'au printemps prochain, la Bibliothèque trois soirs par semaine, le lundi, le mercredi et le vendredi, de 8 heures à 10 heures et demie du soir. Il espère que beaucoup d'entre eux profiteront de cet avantage nouveau qui leur est donné.

L'ordre du jour appelle la communication de M. E. Duchesne, sur *La Recherche de l'Insubmersibilité des grands navires d'acier*.

M. E. Duchesne rappelle qu'un navire peut être comparé à une poutre creuse flottante.

Or, jusqu'ici, on a construit les navires de telle façon que la poutre, qui est la résistance, et la coque, qui est la vessie étanche, ne sont qu'une seule et même chose; les matériaux qui constituent la raideur de la poutre sont les mêmes que ceux qui donnent la flottabilité à la coque, de telle sorte que, si un abordage se produit, non seulement la coque est crevée, mais la poutre est coupée et fléchit; en fléchissant, elle arrache ou décloue les cloisons étanches; le navire s'emplit d'eau irrégulièrement, prend de la bande, chavire et s'engloutit.

C'est à ce fléchissement de la poutre qu'il faut attribuer la plupart des sinistres maritimes. La preuve en est que, si un navire est abordé par l'avant, il est presque toujours sauvé, parce que le cisaillement de la poutre s'est opéré à un endroit où elle travaille relativement peu, et qu'elle ne fléchit pas; ses cloisons conservent donc leur efficacité, la voie d'eau est localisée et le navire est sauvé.

C'est dans le but de construire des navires insubmersibles que M. Duchesne a proposé le système suivant :

Il construit une poutre indéformable, étanche, à l'intérieur du navire et, pour cela, établit à trois ou quatre mètres des murailles bâbord et tribord deux cloisons longitudinales très robustes allant des deux tiers aux trois quarts de la longueur totale, et reliées solidement à un double fond rivé sur les têtes de varangues. Ces cloisons sont entretoisées par un certain nombre de fortes cloisons étanches transversales et par des ponts, comme dans tous autres navires, et tout cet ensemble est construit en matériaux à haute résistance; il contient les machines, les chaudières et en général toutes les parties du matériel mécanique si important; il contient aussi une partie des soutes à charbon (au moins la quantité nécessaire à la consommation journalière). Entre le bordé extérieur et le caisson ainsi formé, il existe de chaque côté un intervalle de trois ou

quatre mètres de largeur qui est divisé en petites cales latérales de dix à vingt mètres de longueur par des cloisons transversales formant porques, allant du haut en bas et reliées, à leur pied, avec le bordé extérieur et le double fond. Les porques, les ponts et les barrots de ces compartiments sont construits en matériaux d'acier à faible résistance, ainsi que les parties verticales des varangues et des carlingues du double fond ; les cornières longitudinales, les membrures et les têtes de varangues sont en acier à haute résistance.

En un mot, tous les matériaux de la construction sont à haute résistance, excepté ceux qui seraient susceptibles de transmettre au grand caisson central un choc venant de l'extérieur. Ces derniers sont en acier à faible résistance pour ployer ou céder en absorbant l'effort du choc d'abordage sans le transmettre au grand caisson qui se trouve ainsi préservé.

Les ponts de ces compartiments latéraux sont disposés de façon à laisser couler, après abordage, l'eau dans les fonds du navire, et remonter dans les compartiments du bord opposé, en contournant par en dessous le caisson central.

Cette disposition, contraire à tout ce qui s'est fait jusqu'ici, a pour but d'éviter la bande et le chavirement, puisque la tranche blessée est remplie symétriquement des deux bords. Le navire enfonce un peu, mais c'est tout. Quant à la stabilité longitudinale, elle est obtenue en faisant communiquer par un tuyau ou une carlingue tubulaire, les compartiments situés en avant et en arrière du grand caisson central. Si le premier est envahi, l'eau coule également dans les econd, et l'équilibre n'est pas détruit. Pour communiquer des compartiments latéraux dans l'intérieur du navire, des portes sont percées, mais seulement à la hauteur de la fibre neutre des grandes cloisons. Ces portes sont étanches et fermées la nuit et par temps de brouillard. Dans un navire construit suivant ce système, le poids de la coque serait majoré à peine de 3 à 4 0/0 et le prix de revient très peu différent. Quant à l'habitabilité et aux facilités d'exploitation, de chargement, d'arrimage et de circulation à bord, elles sont identiques à celles des paquebots les plus récents.

Ce système, applicable aussi bien aux voiliers qu'aux vapeurs, donnerait donc une sérieuse garantie pour la préservation de tant d'existences encore maintenant trop souvent exposées.

M. S. Heryngfet rend justice à l'ingéniosité du système décrit par notre Collègue, mais demande à insister sur l'importante question des portes faisant communiquer entre eux les compartiments. Ces portes peuvent avoir, en effet, une importance capitale au moment du danger, et il n'est pas toujours possible de prévoir celui-ci. En se plaçant plus particulièrement au point de vue des navires de guerre, pour lesquels les risques de crevaison de la coque sont plus nombreux (attaque par les obus, les torpilles, etc.), il faut, de toute nécessité, maintenir certaines de ces portes ouvertes (magasins à poudre, soutes à charbon, etc.) pour assurer la continuité du service à bord, et ne les fermer qu'en cas de besoin absolu et alors d'une manière rapide et certaine.

Il décrit un système de portes très original, connu sous le nom de système Long-Arm. et qui résoud, selon lui, le problème de la manière la plus efficace. L'idée de ces portes est venue à un Ingénieur américain, et elles ont déjà été adoptées par la Marine de guerre des Etats-Unis.

A l'heure actuelle, les portes en usage sont très massives et se ferment par une manœuvre très laborieuse. En cas de danger, l'équipage n'a pas son sang-froid, et ces portes restent ouvertes. On a bien imaginé d'avoir des portes qu'on peut fermer par un mouvement de déclic et qui tombent comme un couperet de guillotine. Mais, lorsque les matelots sont envoyés dans l'intérieur du navire, ils savent que cette porte peut tomber, et que, dans ce cas, ils risquent d'être emprisonnés ; craignant cela, ils entravent le système de fonctionnement de la porte. Il y a donc un facteur humain dont il faut tenir compte.

Le nouveau système de portes prévoit ce facteur humain. A bord du bateau est installé, dans la salle des machines, un petit moteur spécial destiné à manœuvrer toutes les portes du navire. C'est généralement un compresseur à air. De ce compresseur part une canalisation qui se rend aux diverses portes, et cette canalisation est disposée de telle sorte qu'une certaine pression y est constamment maintenue.

Devant chaque porte est installée une boite à soupape, munie d'une poignée, et la compression de l'air est suffisante, en manœuvrant la poignée, pour ouvrir ou fermer la porte. En cas de danger, à l'aide de robinets à trois voies, répartis en divers endroits du navire, on peut fermer toutes les portes à la fois. Le dispositif est combiné de telle sorte que ces portes se ferment lentement, écartant tout danger d'être guillotiné, et laissant aux hommes le temps de passer. Si quelques-uns n'avaient pu fuir avant la fermeture des portes, ils savent que, grâce à la boite à soupape citée plus haut, et, en tournant la poignée, la porte peut s'ouvrir, mais se referme sitôt la poignée lâchée.

La manœuvre des portes peut se faire également par l'électricité, mais le mécanisme est un peu plus compliqué.

Notre Collègue se met à la disposition des Membres de la Société que ce système de portes pourrait intéresser et s'offre à leur en montrer le fonctionnement.

M. P. Regnard dit que, dans le système qui vient d'être décrit par M. Duchesne, le navire n'a plus de waterballast en navigation courante, ou du moins qu'on perd le bénéfice de stabilité dû à ce lest d'eau, puisqu'il peut communiquer de bâbord à tribord et *vice versa*.

En cas d'abordage, l'eau coule dans ce waterballast et monte parallèlement, à droite et à gauche, dans les compartiments étanches symétriques; il en entre donc une quantité plus grande que si l'eau ne pénétrait que d'un côté, soit environ le double; mais l'équilibre transversal en est moins affecté, et il y a là, en fin de compte, une atténuation importante d'un grand danger, puisque c'est par cette circonstance, de la rupture d'équilibre transversal, qu'un grand cuirassé anglais, muni de cloisons étanches, a chaviré et a coulé rapidement, il y a quelques années, à la suite d'un abordage en manœuvres d'escadre.

M. Duchesne a bien indiqué qu'on pourrait obturer assez facilement

les déchirures des ponts supérieurs, ce qui remédierait à l'inconvénient qui vient d'être signalé; mais il semble qu'il n'en sera pas de même si les déchirures causées par l'abordage s'étendent, comme cela pourra arriver fréquemment, jusqu'au dessous de la ligne de flottaison; et, dans ce cas, M. Regnard ne voit pas comment la réparation pourrait bien être effectuée.

Enfin M. Regnard désirerait savoir si quelques calculs ont été faits au sujet de la résistance des poutres aux efforts dont on peut difficilement imaginer l'énormité, efforts causés par les masses colossales, chiffrant par dizaines de milliers de tonnes, que présentent les paquebots actuels, animés de vitesses de 20 nœuds et au delà, soit 30 à 40 *km* à l'heure, environ 10 *m* par seconde.

Il demande quelles dimensions l'on pourrait envisager pour ces poutres longitudinales en vue de résister efficacement à des efforts représentant un choc vingt ou trente fois plus considérable que celui d'un train express.

M. E. Duchesne répondant d'abord à la première question de M. Regnard, dit que, dans le cas où le waterballast n'est pas fermé, il ne peut plus servir comme lest d'eau. Mais, les compartiments latéraux peuvent avoir 10, 12 et même 20 *m*, suivant la grandeur des navires; et on reste libre de faire le waterballast aussi grand que l'on veut, sauf une maille.

Pour la deuxième question, le calcul en détail n'a pas été fait spécialement, mais, par simple analogie, on sait ce que demandent les paquebots habituels. Quand il s'agira de déterminer les dimensions de ces poutres, on pourra faire les calculs, avec la méthode ordinaire.

M. P. Regnard ajoute que, pour que la poutre intérieure soit protégée contre le premier choc, il faudrait que les efforts ne lui fussent pas transmis directement; et il demande si les parties de ponts ainsi que les cloisons verticales, qui relient dans le projet de M. Duchesne le bordé de la coque à la susdite poutre, ne devraient pas avoir une forme légèrement cintrée ou une position inclinée, de manière à subir une flexion qui amortisse une partie notable de l'effort produit par la collision.

Il persiste à croire qu'aucunes dimensions pratiquement réalisables de la poutre intérieure ne suffiraient à empêcher un paquebot comme la *Savoie* ou le *Deutschland* de couper littéralement en deux un paquebot semblable; mais il se plaît à reconnaître que l'adoption du mode de construction préconisé par M. Duchesne pourrait réduire sérieusement le danger, pour un navire entrant en collision avec un voilier.

M. E. Duchesne répond qu'il est d'usage dans la construction des navires, de donner déjà un cintrage au pont, mais qu'il a préféré compter sur la différence de résistance des matériaux entrant dans la construction des barreaux des ponts (30 à 40 *kg*), tandis que les matériaux de la construction centrale, la tôle et la membrure, sont des matériaux d'une résistance de 50, 58, 60 *kg*. Si donc son navire est abordé par un autre, le choc ne sera pas localisé en un point. Il y aura froissement, déchirure, et l'amortissement de ce choc sera fait sur une certaine lon-

gueur de ces ponts successifs et de ces membrures. En mer, on peut s'attendre à toutes sortes d'accidents ; il ne prétend pas avoir l'insubmersibilité absolue, mais réaliser quelque chose de mieux que ce qui a été fait jusqu'à présent.

M. L. de Chasseloup-Laubat déclare qu'il a écouté avec le plus grand intérêt cette remarquable communication ; il n'attendait d'ailleurs pas moins d'un praticien aussi solidement documenté que M. Duchesne ; il lui adresse ses félicitations les plus chaleureuses.

Il demande seulement à présenter quelques observations sur le sujet si important de l'insubmersibilité des navires de commerce.

La sécurité absolue n'existe naturellement pas, et ne saurait exister, quoi que l'on fasse, en cas de collision de deux grands bâtiments s'abordant franchement à toute vitesse. Par contre, on peut obtenir une sécurité largement suffisante dans la plupart des cas probables d'accident, tels que collision à vitesse réduite entre bâtiments de déplacements très différents, frôlement, rencontre d'épaves, d'icebergs ou d'écueils.

Le mode de construction proposé par M. Duchesne paraît atteindre ce but, au moins en ce qui concerne les très grands bâtiments ; il est malheureusement inapplicable sur les navires de moyen et, *a fortiori*, de petit tonnage.

Aussi, M. de Chasseloup-Laubat donne-t-il la préférence au système exposé par M. Bertin, au dernier Congrès du Génie maritime. C'est l'application aux navires de commerce des idées dont M. Bertin a été l'initiateur pour les bâtiments de combat, et que toutes les marines de guerre adoptent aujourd'hui. C'est la tranche cellulaire ou entrepont cellulaire.

M. de Chasseloup-Laubat pense que M. Duchesne a un peu exagéré les dangers du cisaillement dans les fibres tendues ou comprimées après que la collision s'est produite : pour lui, la principale cause de perdition des bâtiments, et surtout de ceux qui les montent, est purement et simplement le chavirement. C'est encore là une raison pour préconiser l'entrepont ou tranche cellulaire.

Comme conclusions, M. de Chasseloup-Laubat déclare accorder la préférence au système de M. Bertin, tout en reconnaissant que les idées émises par M. Duchesne pourraient être très avantageusement appliquées dans la partie centrale d'un bâtiment de grande dimension : deux solides cloisons longitudinales, à 3 ou 4 *m* du bordé, établies par le travers des chambres de chauffe, et surtout des chambres des machines, augmenteraient certainement la sécurité.

En ce qui concerne les portes étanches dans les cloisons étanches, M. de Chasseloup-Laubat estime qu'il y a beaucoup de progrès à effectuer dans la voie qu'a indiquée un de nos Collègues. Pourtant il ne faut pas s'exagérer la sécurité que donnent les appareils de fermeture, quelque ingénieux qu'ils puissent être ; au moment d'une collision, d'un accident, toute porte étanche, quel que soit le système, peut ne pas fonctionner, par suite d'une raison quelconque, telle que la présence du charbon (dans le cas d'une porte de soute). Le parti le plus sage est de restreindre autant que possible le nombre des portes étanches dans les parties

vitales du bâtiment, surtout si le navire est destiné à porter un grand nombre de personnes, dût-il en résulter des difficultés de service.

M. S. Heryngfet reconnait que l'objection formulée en dernier lieu par notre Collègue, M. de Chasseloup-Laubat, est judicieuse (encombrement possible de la porte étanche par le charbon au moment du danger), mais c'est une des premières qui a été prévue dans le système Long-Arm. Les portes de ce système sont, en réalité, des vannes se déplaçant par un mouvement de glissement entre deux guides latéraux et la présence du charbon n'affecte en aucune façon leur fonctionnement. Notre Collègue déclare qu'il a, lui-même, vu ces portes traverser une masse de charbon et se fermer aussi hermétiquement que s'il n'y avait eu aucun obstacle.

M. Bertin, en félicitant M. Duchesne de sa communication, dit qu'on peut reprocher une chose à son système, c'est de n'être applicable qu'aux très grands navires. Il croit qu'il n'y en a que cinq ou six au monde qui pourraient le recevoir. La *Bourgogne* n'aurait pu avoir des cloisons de cette forme. Mais, pour les très grands navires, qui méritent leur part d'intérêt, on pouvait se demander si les précautions déjà prises en les construisant ne sont pas suffisantes, par exemple, pour ceux qui ont 200 *m* de longueur et dépassent 23 000 *tx*, et qui n'ont pas moins de 15 cloisons étanches.

A ce sujet, M. Bertin a fait, au commencement de l'année, l'étude concernant un paquebot de 23 000 *tx*, mis en service à cette époque et il en présente les principaux résultats numériques. Les effets d'un abordage, de la nature de ceux dont on peut utilement se préoccuper, sont redoutables dans un cas seulement, celui où, l'une des deux chambres de machines étant envahie par la mer, le bâtiment prend une bande d'équilibre qui varie de 20 à 36°, selon les circonstances.

Le nombre des compartiments de l'entrepont inférieur cloisonné qui peuvent alors être ouverts sans danger pour la stabilité est, dans ces conditions, très restreint, deux au plus; avec trois compartiments envahis en avant des machines, la situation est désespérée, si le navire est lège; avec quatre compartiments, le chavirement se produit dans tous les états de chargement. Il y a donc lieu, comme l'a pensé M. Duchesne, de se prémunir contre le danger des abordages, même sur les plus grands paquebots.

Ce ne sont pas, d'ailleurs, les abordages entre très grands navires, suivant des routes parallèles, qu'il faut considérer; contre ceux-là, il n'y aurait rien à faire. Les accidents, auxquels il faut essayer de remédier, résultent surtout du choc d'un voilier courant perpendiculairement aux routes maritimes.

M. le Président remercie, non seulement M. Duchesne de sa très intéressante communication, mais encore ceux qui ont pris part à la discussion.

Il ajoute qu'il serait intéressant de préciser à quelle surcharge de poids conduirait le système de M. Duchesne.

M. E. Duchesne répond que cette surcharge serait de 3 à 4 0/0, et que

le prix de construction à la tonne serait inférieur à celui de la construction ordinaire.

Il ajoute qu'il a construit un modèle de 2,75 *m* de longueur et qu'il sera heureux de le montrer, au Vésinet, où il navigue sur un lac.

M. L. de Chasseloup-Laubat demande si M. Bertin ne pourrait pas, ce soir ou dans une autre séance, décrire l'application qu'il a faite aux navires de commerce de son invention, déjà utilisée sur les navires de guerre.

Ce système doit pouvoir également assurer l'étanchéité et l'insubmersibilité des bâtiments de commerce qui ont à affronter des dangers moins considérables et moins multiples que les navires de guerre.

M. Bertin répond que l'étude qu'il a faite est encore incomplète, mais qu'il se fera un plaisir d'entretenir la Société du résultat de ses recherches lorsqu'elles seront terminées.

La parole est à M. Ch. Vattier, pour sa communication sur *les Mines, la Métallurgie et l'Electricité, à l'Exposition de Buffalo et dans la région Nord-Est des Etats-Unis et du Canada.*

La communication de M. Ch. Vattier sera insérée *in extenso* dans un prochain *Bulletin*

M. Cahen-Strauss signale que le ministre du Commerce a présenté un projet d'une sorte d'école qui serait pour l'Industrie ce que sont les Écoles de Rome et d'Athènes pour les Beaux-Arts. Elle recevrait les élèves de nos principales Écoles supérieures, qui seraient envoyés en Amérique pour étudier l'industrie locale, et reviendraient après un an. Le vœu exprimé par M. Vattier, dans sa communication, a reçu un commencement d'exécution, puisque le Gouvernement s'en préoccupe.

M. le Président remercie M. Vattier d'avoir bien voulu tenir ses Collègues au courant de ses voyages et le félicite de l'intérêt qu'il a su donner à sa communication.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. M.-M.-P. du Bois-d'Auberville, A. Combet de Larenne, V. Couaillier, F.-X. Delauzun, J. Garin, P.-L. Henriot, E. Pionnier, R.-F.-M. de Weck, comme membres sociétaires.

MM. M.-L.-A. Algrin, H.-A. Bertin, E.-H. Coignard, G.-L. Gauthier, P.-J.-B. Guillot, G. Humruz, S. Lacombled, A.-L.-P. Malliary, P. Pedrazzi, S.-L. Ravier, S. Sotomayor, Ch.-H. Straw, A.-A. Villard, sont reçus membres sociétaires, et

MM. Ch.-E. Baillet, N. Boncourt, J. de Dusmet, membres associés.

La séance est levée à 11 heures et demie.

Le Secrétaire,
Georges Courtois.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 22 NOVEMBRE 1901

Présidence de M. Baudry, Président

La séance est ouverte à 8 heures 3/4.

A l'occasion du procès-verbal d'une précédente séance, M. le Président fait donner lecture d'une lettre qu'il a reçue de M. Le Chatelier, Membre, pour la France, du Comité directeur de l'Association internationale pour l'Étude des Méthodes d'essais des matériaux.

« Paris, le 12 novembre 1901.

» Monsieur le Président,

» Le procès-verbal de la dernière séance de la Société des Ingénieurs » civils de France rend compte d'une discussion au cours de laquelle » une confusion a été commise entre mes opinions personnelles, au sujet » des essais de fragilité, et les avis que pourra avoir à émettre la Com- » mission du matériel roulant instituée au Ministère des Travaux » publics. En principe, une Commission administrative n'a d'autre avis » que celui qui résulte des rapports qu'elle adresse au Ministère sur » l'objet de ses travaux. Dans l'espèce, non seulement ladite Commis- » sion n'a manifesté aucune des intentions qui lui sont supposées, mais » même au moment du Congrès de Budapest elle n'avait pas encore » commencé ses délibérations. Elle s'était bornée, dans la seule séance » qu'elle avait tenue, à demander l'envoi d'un questionnaire aux indus- » triels avec l'intention de prendre ultérieurement les réponses faites à » ce questionnaire comme base de ses délibérations.

» Les opinions individuelles que peuvent émettre tels ou tels membres » d'une Commission ne sauraient en aucun cas l'engager dans son » ensemble, ni même permettre de préjuger ses décisions futures. Les » idées que j'ai développées au Congrès de Budapest peuvent d'autant » moins être considérées comme un écho de celles qui auraient été » agitées dans la Commission dont je fais partie, que je les avais déve- » loppées avant toute réunion de cette Commission. Le procès-verbal » de la réunion des membres français de l'Association internationale, qui » a eu lieu au mois de Juin, suffit pour en témoigner, sans qu'il soit » besoin d'invoquer les nombreuses correspondances que j'ai échangées » sur ce sujet avec les Ingénieurs des différentes Compagnies de chemin » de fer et avec ceux d'un certain nombre d'aciéries. C'est là un fait » connu de toutes les personnes qui suivent les études relatives aux » nouveaux essais.

» Si j'avais été seul mis en cause, je me serais abstenu de répondre, » estimant que de semblables critiques ne peuvent être que favorables » à la diffusion des idées que je cherche à faire prévaloir. Mais, puisque

» j'ai été amené à intervenir pour faire une rectification indispensable, » je désirerais profiter de la circonstance pour préciser quelles sont au » juste les idées que je défends.

» Tous les ingénieurs au courant des méthodes d'essais sont d'accord » pour reconnaitre que l'essai de traction est insuffisant pour définir les » qualités des métaux utiles à l'emploi. Beaucoup d'entre eux pensent » que l'essai de fragilité peut combler cette lacune; je suis de ceux-là. » Il n'est pas moins vrai cependant que la grande majorité des métaux » reçus avec les conditions actuelles donnent satisfaction pour les usages » auxquels ils sont destinés. Mais, accidentellement, on en laisse passer » quelques-uns qui sont exceptionnellement mauvais; ce sont ceux là » qu'il s'agit d'arrêter par l'essai de fragilité. Un essai qui arrêterait » 10 0/0 par exemple de la fabrication actuelle donnerait un supplé- » ment énorme de sécurité au consommateur, sans causer aucun préju- » dice aux usines. Je mets en fait qu'il n'y en a pas une seule qui ne » soit en mesure, avec un peu de soin, mais sans aucun supplément de » dépense, de faire face à un semblable essai. Aujourd'hui presque tous » les métaux fragiles livrés au commerce sont des métaux surchauffés; » c'est là un défaut qu'il sera facile d'éviter, du jour où l'on aura des » moyens, pour contrôler la fabrication, plus efficaces que ceux dont on » dispose aujourd'hui.

» Il est probable que dans l'avenir cet essai de fragilité deviendra » progressivement de plus en plus sévère, et cela, par le seul jeu de la » libre concurrence, au fur et à mesure des progrès de l'industrie. Après » les progrès que la fabrication de l'acier a faits depuis trente ans, il est » difficile d'admettre qu'elle n'en fera plus aucun dans l'avenir.

» Mais ce n'est pas cela dont il s'agit pour le moment; il n'est pas » question de vouloir imposer dès aujourd'hui à l'industrie, des condi- » tions auxquelles elle ne serait en mesure de satisfaire que dans un » avenir inconnu. Il s'agit seulement, en ce moment, de reconnaitre, par » des expériences aussi multipliées que possible, quelle est la façon de » se comporter, au point de vue de l'essai de fragilité, des métaux ac- » tuellement fabriqués. On pourra alors, en toute connaissance de cause, » fixer les conditions capables d'augmenter les garanties offertes au » consommateur, sans porter de préjudice sérieux au producteurs d'acier.

» Le concours des industriels aurait certainement été précieux pour » hâter la solution d'un aussi important problème, et personne ne regrette » plus que moi l'impossibilité d'obtenir cette collaboration d'une façon » plus générale et plus efficace. Je puis me rendre la justice d'avoir fait » tout ce qui dépendait de moi pour obtenir ce concours. Les commu- » nications faites au Congrès de Budapest par des Ingénieurs métallur- » gistes l'ont toutes été sur ma demande directe, et je me suis aussi bien » adressé aux partisans qu'aux adversaires des essais de fragilité. Enfin, » pour éviter tout froissement inutile, j'ai, sur la demande même de » M. Arbel, renoncé à soumettre au vote du Congrès un vœu dont j'avais » préparé la rédaction, et je me suis rallié à celle qui a été proposée » par M. Sauvage d'accord avec M. Arbel.

» Peut-être y aurait-il lieu de clore cette réponse aux critiques dont » j'ai été l'objet, par quelques considérations d'ordre plus général. Les

» progrès de l'industrie au dix-neuvième siècle ont été la conséquence » directe des progrès semblables des sciences expérimentales, et pourtant » il existe entre la science et l'industrie une fraîcheur de relations que » rien ne justifie. La cause en est double : un trop grand nombre de » savants, de travailleurs de laboratoire ignorent et même méprisent » les problèmes de la pratique. La faute en est à l'orientation défec- » tueuse donnée à notre enseignement scientifique. Mais ce n'est pas » là le cas dans l'espèce présente, puisque ce que l'on nous reproche est » de nous intéresser plus qu'on ne le demande à l'industrie. Par contre, » l'organisation des Sociétés anonymes par actions met parfois à la tête » des affaires industrielles des conseils trop peu au courant des problèmes » techniques. Préoccupés avant tout de la question commerciale et du » dividende de l'année actuelle, ils n'accordent pas toujours une atten- » tion suffisante à l'évolution incessante des industries qu'ils dirigent, » ils finissent souvent par se laisser acculer à des transformations trop » tardives, et partant très onéreuses, de leurs usines. Si l'industrie fran- » çaise s'était préoccupée plus tôt de cette question do la fragilité, sur » laquelle son attention est appelée depuis dix ans déjà, elle serait » arrivée aujourd'hui à prendre une avance considérable sur la concur- » rence étrangère. Elle ne peut tarder plus longtemps sous peine de se » laisser distancer.

» Je vous serais reconnaissant, Monsieur le Président, de vouloir bien » donner connaissance de cette lettre à la prochaine réunion de la Société » des Ingénieurs civils et d'en proposer la publication au procès-verbal.

» Veuillez agréer, etc.

» H. Le Chatelier ».

M. le Président dit qu'il a fait donner lecture de cette lettre parce que, M. Henri Le Chatelier ayant été personnellement mis en cause dans une séance précédente, il était juste de faire connaître sa réponse.

Il a reçu d'autre part plusieurs lettres, d'un caractère exclusivement technique, sur la question des essais par chocs de barreaux entaillés. Ces lettres montrent que la question intéresse vivement la Société et que la discussion à son sujet n'est pas épuisée. Il ne convient pas cependant de rouvrir aujourd'hui cette discussion, d'abord parce qu'elle n'a pas été annoncée, ensuite parce que l'ordre du jour très chargé ne permettrait pas de lui donner toute l'ampleur qu'elle comporte. Il est préférable de l'ajourner à une prochaine séance, et M. le Président demandera au Bureau de 1902 de vouloir bien la mettre à l'ordre du jour d'une des premières séances de l'année.

Sous réserve de ces observations, le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer à la Société le décès de :

M. F. Ch. Brauer, Membre de la Société depuis 1864, Vice-Président du Conseil de surveillance et ancien Administrateur-Directeur de la Société Alsacienne de Constructions mécaniques.

M. le Président adresse à la famille de notre regretté Collègue, l'expression des sentiments de condoléance de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer la décoration de M. Paul Canet qui a été nommé Chevalier de l'ordre du Christ du Portugal.

De plus, ont été nommés Membres de la Commission, créée par M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie, pour étudier l'organisation à l étranger d'une École de perfectionnement pour les jeunes Ingénieurs et Industriels, nos Collègues : MM. Ch. Balsan, Ch. Baudry, P. Buquet, P. Jacquemart, H. Menier, A. Poirrier, S. Pozzy, E. Schneider.

M. LE PRÉSIDENT rappelle qu'à titre d'essai, et jusqu'au printemps prochain, la Bibliothèque sera, à partir du 1er décembre, ouverte le soir, de 8 heures à 10 heures et demie trois fois par semaine, les lundi, mercredi et vendredi.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le bureau la liste, qui sera insérée dans un prochain *Bulletin*, des ouvrages reçus depuis la dernière séance.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Fiévé a fait un don de 28 *f.* et il lui adresse les vifs remerciement de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dit que le Comité du Cinquantenaire Berthelot a fait parvenir à la Société vingt-cinq cartes d'invitation pour lui permettre de se faire représenter à la cérémonie qui doit avoir lieu le dimanche 24 novembre 1901, à 10 heures du matin, à la Sorbonne.

M. LE PRÉSIDENT rappelle les conditions et le programme des *deux Prix Giffard* qui doivent être décernés dans la deuxième séance de juin 1902.

En effet, le *Prix Giffard de 1899* n'ayant pas été décerné, le Jury a décidé de le proroger jusqu'en 1902, de lui attribuer une valeur de 5.000 *f.* et de conserver le même sujet de concours, savoir :

Automobiles sur routes : Voitures et tracteurs publics et particuliers, pour la ville et la campagne (voyageurs, commerce, camionnage, etc.). Les concurrents devront commencer leur mémoire par une *Revue sommaire et critique* de l'état de la question, puis présenter la description de quelques types exécutés ou susceptibles d'exécution.

Quant au sujet de concours pour le *Prix Giffard 1902,* il est le suivant :

Des machines agricoles et leur construction en France : Importance actuelle de cette industrie, ses produits, ses principaux centres. — Causes qui font obstacle à son développement et favorisent l'importation des machines de fabrication étrangère. — Moyens de remédier à cette situation, et progrès à réaliser pour que les agriculteurs français soient munis autant que possible d'un outillage exclusivement français.

Ces deux Prix seront décernés dans la deuxième séance de juin 1902.

Les mémoires doivent être déposés le 31 décembre 1901, dernier délai, au Secrétariat, 19, rue Blanche.

M. LE PRÉSIDENT dit que le Congrès International de pêche et de pisciculture, qui devait avoir lieu, à Saint-Pétersbourg du 4/17 au 9/22 mars, se tiendra dans cette même ville, du 11/24 février au 16 février/1er mars 1902 au lieu de la date qui avait été primitivement fixée.

Enfin, une Exposition Internationale « Commerce, Industrie, Sciences, Beaux-Arts » se tiendra à Lille de mai à septembre 1902.

L'ordre du jour appelle le compte rendu, par M. Regnard, du *Congrès International d'Ingénieurs (Glasgow).*

M. P. Regnard dit qu'une Exposition Internationale a eu lieu cette année à Glasgow, et à cette occasion un grand nombre de Congrès, parmi lesquels il convient de citer ceux de l'Iron and Steel Institute, de la British Association for Advancement of Science, se sont tenus au courant de l'été dans cette ville.

Le plus important de tous fut assurément le Congrès International des Ingénieurs, auquel la Société des Ingénieurs Civils de France était invitée à prendre part. Ce Congrès a eu lieu dans les magnifiques bâtiments de l'Université, à proximité de l'Exposition, les 3, 4, 5 et 6 septembre 1901.

Plus de 2 000 Ingénieurs, dont une vingtaine de Français, y ont pris part; trois membres du Comité de la Société des Ingénieurs Civils, MM. Cornuault, Jannettaz et Regnard, avaient pu répondre à l'invitation de nos Collègues d'outre-Manche.

M. Regnard dépose sur le Bureau, pour la Bibliothèque de la Société, la brochure relatant les noms des délégués étrangers et des Membres honoraires du Congrès.

Le Président honoraire était lord Kelwin, et le Président effectif, sir J. Mansergh, Président de la Société des Ingénieurs Civils de Londres.

Le Comité de Londres, pour le Congrès avait pour Président sir Douglas Fox et pour Secrétaire, M. J.-H.-T. Tudsberg; il se composait d'une centaine des plus célèbres Ingénieurs anglais.

Le Comité exécutif et le Comité local étaient présidés par sir Rob Caird, avec l'assistance, comme secrétaire général, de sir J.-D. Cormack, dont on ne saurait louer assez l'infatigable activité et la haute courtoisie.

Le Congrès était subdivisé en neuf sections, à la tête de chacune desquelles était un sous-Comité.

Les brochures, donnant le résumé des questions traitées dans chaque section, ont été réunies par M. Regnard en un volume qu'il remet à la Bibliothèque de la Société, afin que chacun puisse prendre connaissance des travaux qui peuvent l'intéresser, leur simple énoncé étant même trop considérable pour trouver place dans cette brève notice.

Une brochure séparée contient le programme du Congrès, les renseignements généraux et avis, toutes les informations concernant les trains, la poste, les hôtels, le programme des quatre journées du Congrès, l'énumération des visites spéciales organisées chaque jour dans un grand nombre des usines les plus importantes de l'immense agglomération industrielle de cette région écossaise, si riche en glorieux souvenirs de grands inventeurs mécaniciens. Cette brochure, des plus intéressantes à parcourir, renferme aussi la liste, très considérable, de tous les Établissements industriels qui, en dehors des visites en corps relatées ci-dessus, ouvraient libéralement leurs portes à tous les membres du Congrès, soutenant ainsi le bon renom de l'hospitalité écossaise.

On y trouve encore le programme des excursions moins sérieuses, sinon moins intéressantes, organisées pour visiter les sites les plus remarquables des environs : le lac Lomon, les chutes de la Clyde,

Arrochar, Édimbourg et le pont du Forth, etc., ainsi que celui des fêtes données à l'occasion du Congrès : banquet-réception par le lord Prévot sir Samuel Chisholm et la Corporation de Glascow, bal au St Andrew's Hall.

Enfin, M. Regnard offre à la Société un exemplaire du guide illustré concernant les excursions pittoresques dont il vient d'être parlé, guide rédigé avec ce sens pratique qui caractérise le peuple anglais : cartes géographiques, vues en photolithographie, descriptions, emploi du temps, etc. A peine M. Regnard ose-t-il recommander pourtant à ses collègues la lecture de ce guide, tellement il craint de raviver les regrets de ceux qui ont été empêchés de faire ce beau voyage.

Le Congrès des Ingénieurs fut aussi l'occasion d'inaugurer, quoique non terminé encore, le nouveau Laboratoire de Mécanique. Ce Laboratoire a été construit dans l'enceinte de l'Université de Glasgow, en commémoration du célèbre Ingénieur James Watt, par lord Kelwin.

Encore inachevé, il promet d'être l'un des plus complets, sinon le plus vaste, de tout le Royaume-Uni. Son outillage est principalement étudié dans le but de fournir aux élèves les moyens les plus perfectionnés de faire toutes les applications des principes scientifiques et les essais de toute nature qui intéressent l'art de l'Ingénieur ; il comprendra notamment une machine horizontale pour les essais de traction, d'une puissance de 100 *t* ; deux machines verticales d'essais, de la force de 10 *t* chacune et un appareil spécial destiné aux essais de torsion ; on y trouvera aussi une machine à gaz offerte par l'Association de l'Industrie anglaise du Gaz en mémoire de Murdoch, le premier pionnier de cette industrie, une machine à vapeur, une machine frigorifique, des installations hydrauliques très puissantes et parfaitement agencées pour l'essai des turbines et des pompes.

Le premier étage est réservé à un Laboratoire d'électricité, et des emménagements complémentaires renferment un musée, des amphithéâtres, une bibliothèque et des salles de lecture.

Le temps des Congressistes était tellement absorbé qu'il leur en restait bien peu pour visiter l'Exposition.

Pour modeste qu'elle fût, si on la compare à celle de l'année dernière à Paris, elle présentait pourtant des sujets d'étude intéressants. Ouverte tous les soirs, à un prix d'entrée moindre que celui de jour, elle était éclairée dans son entier. Par contre, le dimanche, elle était fermée.

L'Exposition de Glasgow a été installée dans le Parc de Kelwingrowe et sur le côté de la route de Dumbarton.

Sans compter toutes les constructions spéciales du Canada, de l'Australie, de l'Irlande, de la France, de la Russie et du Japon, elle comportait quatre bâtiments principaux : le Palais des Arts libéraux, le bâtiment des Industries diverses, le bâtiment des Machines, et un hall de jonction reliant ces deux édifices.

Le Palais des Arts libéraux est construit en grès rouge, c'est le seul bâtiment, d'ailleurs, qui doive être conservé.

Le bâtiment des Industries diverses, de beaucoup le plus important, avait une entrée sur Sandyfordstreet et une autre sur les jardins de

l'Exposition, en face du coude formé par la rivière Kelvin sur laquelle un pont a été jeté.

La galerie des Machines, de 450 pieds de long sur 275 pieds de large, était formée de trois travées.

La galerie de jonction, dite « Hall de la Grande-Avenue », était dévolue principalement aux expositions anglaises et avait environ 75 pieds de large sur 900 pieds de long.

On avait groupé en onze classes les objets exposés, savoir :

1° Produits bruts de l'agriculture et des mines.
2° Produits industriels et manufacturés.
3° Production de la force motrice. — Electricité. — Machines-outils.
4° Locomotion et transports.
5° Génie maritime.
6° Chauffage, éclairage et ventilation.
7° Instruments scientifiques. — Musique.
8° Education.
9° Sports.
10° Travaux de la femme.
11° Beaux-Arts. — Section archéologique. — Histoire écossaise.

A citer, dans la classe 2, les produits réfractaires qui jouent un rôle important dans la grande industrie métallurgique écossaise : briques de magnésie, de silice, etc.

Dans la classe 3, on remarquait les machines produisant la puissance motrice nécessaire pour éclairer toute l'Exposition, ainsi que pour la transmission électrique de la force; plusieurs groupes électrogènes ainsi que des compresseurs d'air importants étaient affectés à cet usage; le mouvement était donné à un assez grand nombre d'outils, dans la galerie des machines, par l'intermédiaire de deux arbres de couche principaux, parallèles au grand axe du bâtiment; d'autres outils, dont les progrès semblent s'accentuer très notablement, étaient mis en action par l'air comprimé.

Dans cette même classe 3 figuraient en grand nombre les moteurs à gaz, depuis les plus petites forces jusqu'à 400 *ch*.

La classe 4 renfermait une locomotive du London and S. W. Railway, une autre du South-Eastern and Chatham Railway et une de la Compagnie du Midland Railway.

Quelques bateaux mus par moteurs à pétrole et diverses voitures automobiles, en petit nombre, complétaient cette classe.

La classe 5, « Génie maritime », occupait naturellement la place prépondérante à l'Exposition. On y remarquait notamment une quantité considérable de modèles en réduction, non seulement des plus beaux navires modernes, mais aussi des plus anciens navires à vapeur, remontant au commencement du siècle dernier, ce qui permettait d'envisager les énormes progrès qu'a vus éclore le dix-neuvième siècle.

Les colonies anglaises présentaient des ensembles d'expositions très intéressants, particulièrement au point de vue minéralogique, comme celle de l'Australie occidentale, celles du Queensland et du Canada.

A citer, dans l'exposition du Queensland, un obélisque figurant la

production de l'or jusqu'en 1900, production dont la valeur atteint 1 milliard 250 millions de francs.

A remarquer également une très grande et curieuse fontaine de mercure, dont le bassin contenait divers corps flottants, pierres, fonte, etc. L'alimentation de cette fontaine à grande vasque circulaire se faisait au moyen d'une machine élevatoire constituée par une noria ou chaine à godets toute en fer.

La France, l'Autriche, la Russie, le Danemark et le Japon exposaient, dans le grand hall de l'Industrie, des produits manufacturés de toutes sortes, et la section française avait une importance capitale, particulièrement dans les sections de l'ameublement, du vêtement, de l'article de Paris, de la joaillerie et de la bijouterie. A mentionner également quelques jolis modèles de paquebots transatlantiques et particulièrement du dernier construit « La Savoie ».

L'exposition russe comportait, dans la galerie industrielle, un certain nombre de vitrines renfermant des produits industriels variés. Mais ce qui constituait son principal intérêt, c'étaient quatre grands pavillons distincts, construits en bois d'un style moscovite très caractérisé, peints de couleurs très vives.

Un de ces pavillons renfermait de magnifiques échantillons de bois et tous les produits de l'industrie forestière, Un autre, contenait les produits manufacturés de toutes sortes, et principalement des étoffes. Le troisième pavillon russe était entièrement dévolu à l'agriculture et le quatrième à l'industrie minière. Ce dernier renfermait de magnifiques collections de minerais de cuivre, d'étain et les produits variés de l'industrie du pétrole, ainsi que des pierres précieuses; la plupart de ces objets donnaient l'impression de quelque chose déjà vu, et avaient figuré pour la plus grande partie, à l'Exposition de 1900.

Comme toutes les expositions, celle de Glasgow renfermait beaucoup de pavillons isolés et un certain nombre d'attractions, une vaste salle de Concerts, des montagnes russes, un théâtre indien, des restaurants variés dont quelques-uns étaient naturellement des Temperance-House, et enfin une Water-Chute très goûtée du public et consistant en un immense plan incliné sur lequel des bateaux glissent pour être finalement précipités dans l'eau où ils ricochent furieusement en trois ou quatre bonds énormes.

A signaler aussi dans le parc un bien curieux modèle de chemin de fer sans locomotive, sans aucune traction pourrait-on même dire, où les wagons progressent par le soulèvement successif des divers tronçons de la voie, tronçons formant une sorte de viaduc et supportés à leurs deux extrémités par les pistons de grandes presses hydrauliques verticales qui entrent tour à tour en action.

M. Regnard fait projeter un certain nombre de vues se rapportant à son voyage en Ecosse, vues de quelques monuments et de l'Exposition de Glasgow, de sites pittoresques aperçus au cours des excursions des congressistes, et enfin la photographie d'une machine de Newcomen, qui, bien qu'installée depuis 1809, fonctionne encore à Farm Colliery, près Ruthergleen, et représente, sans aucun doute, la doyenne de toutes les machines à vapeur; le cylindre, à simple action, est ouvert par le haut,

et la manœuvre des soupapes faisant communiquer le bas du cylindre alternativement avec la chaudière et avec le condenseur se fait comme en 1809, à la main !

En terminant, M. Regnard ne peut s'empêcher d'exprimer le regret qu'un groupe plus important de ses Collègues n'ait pu profiter de ces intéressantes et instructives excursions, dont le Congrès des Ingénieurs ainsi que l'Exposition de Glasgow ont été l'occasion, et auxquelles pour sa part il eût désiré pouvoir consacrer davantage de temps, pour reconnaître les courtoises attentions prodiguées à leurs hôtes par les Ingénieurs anglais et écossais.

M. le Président remercie M. Regnard de son compte rendu, et donne la parole à M. Armengaud Jeune pour une communication sur les *Progrès de la Navigation aérienne et les Expériences de M. Santos-Dumont* (1).

M. Armengaud Jeune expose qu'ayant suivi la plupart des expériences de M. Santos-Dumont et assisté à l'épreuve décisive qui lui a fait gagner le prix dû à la libéralité de M. Deutsch, il a pensé qu'il était en mesure de traiter devant la Société la question de la direction des ballons aujourd'hui entrée dans une voie qui doit fixer l'attention des ingénieurs.

On s'accorde à reconnaître que, dans ces expériences, c'est le moteur qui a joué le rôle le plus important et que c'est grâce à l'application des moteurs à mélange tonnant, résolue par M. Santos-Dumont, que ce dernier a pu remplir les conditions d'un programme dont personne ne conteste le caractère ardu et périlleux.

Mais, tout en rendant hommage à la laborieuse ténacité et à l'indomptable courage de M. Santos-Dumont, et en se plaçant sur le terrain purement technique, il y a lieu de rechercher la contribution que les travaux du jeune Brésilien ont apporté à la solution du problème de la conquête de l'air.

M. Armengaud Jeune passe en revue les diverses expériences de M. Santos-Dumont, puis rappelle les tentatives de ses devanciers, MM. Giffard, Dupuy-de-Lôme, Tissandier, et insiste particulièrement sur les essais démonstratifs de MM. Renard et Krebs, en 1884 et 1885. C'est surtout en comparaison avec les résultats acquis par ces savants officiers qu'il discute les résultats obtenus par M. Santos-Dumont. A cet effet, il analyse les circonstances de la dernière épreuve du 19 octobre et il recourt à trois moyens pour déterminer, avec une approximation qui lui parait très acceptable, quelle a été la vitesse propre de l'aéronef de M. Santos-Dumont.

1° Arithmétiquement, par un calcul numérique des plus simples, en comptant les distances mesurées sur la carte, et en prenant les temps du passage de l'aérostat à différents points du parcours, on trouve que la vitesse réelle de l'aérostat projeté sur le sol a varié entre 13,60 *m* pour l'aller et 4,46 *m* pour le retour, que ces mesures soient prises sur des portions ou sur l'ensemble du parcours. Il en résulte qu'en supposant que la vitesse du vent a oscillé entre 4,50 *m* et 5,50 *m*, mesures prises à différentes hauteurs aux anémomètres de la Tour Eiffel, la vitesse rela-

(1) Voir pages 745 et suivantes, l'annexe au procès-verbal de la séance.

tive de l'aérostat dans le courant d'air, c'est-à-dire sa vitesse propre, celle qu'il aurait en air calme, a nécessairement atteint une valeur entre 8 *m* et 9 *m*.

On arrive au même résultat en faisant le calcul comme pour les bateaux, ce qui donne une moyenne éliminant la vitesse du courant, supposée constante, pendant le trajet. Mais, dans la réalité, la vitesse propre de l'aérostat dans l'air a toujours été plus grande, puisqu'il a marché avec un certain tangage qui l'inclinait sur l'horizon.

2° Géométriquement, par une méthode graphique, on vérifie les résultats qui précèdent, en étudiant la projection sur le sol de la trajectoire de l'aérostat qui a pu être tracée avec assez d'exactitude, en s'aidant des renseignements puisés près des personnes qui se sont trouvées échelonnées sur le parcours et ont noté l'heure du passage du ballon au zénith au-dessus de leur tête.

3° Algébriquement, M. Armengaud a étudié la marche de l'aérostat de M. Santos-Dumont, en ayant recours d'abord aux formules données par M. le colonel Renard. Pour cela, il a admis que le moteur à quatre cylindres, construit par M. Buchet, et installé sur la poutre armée de l'aérostat de M. Santos-Dumont, avait fourni une puissance variant de 16 à 20 *ch*, selon que la carburation par le carburateur à niveau constant a pu se faire plus ou moins régulièrement, et il a supposé que la force de propulsion de l'hélice était de 70 *kg*. Dans ce cas, il a trouvé pour la vitesse propre environ 10 mètres.

En appliquant les équations de M. Duroy de Bruignac, on trouve pour la vitesse propre théorique du Santos-Dumont 9,3 *m*.

La concordance de tous ces résultats et calculs permet à M. Armengaud d'assurer d'une façon catégorique que la vitesse propre obtenue par M. Santos-Dumont a certainement atteint 8,50 *m*. C'est là un gain de plus de 2 *m* sur le ballon « La France » du parc de Chalais et, par conséquent, c'est un progrès considérable.

M. Armengaud étudie ensuite la question de la stabilité de route de l'aérostat. Il indique entre quelles limites a dû varier l'inclinaison dans un plan azimuthal (ce qui correspond au tangage) à l'aide du couple de renversement qui est d'autant plus grand que l'arbre de l'hélice est plus éloigné de la droite passant par le centre de pression du ballon. La formule, donnée par M. Soreau dans un Mémoire présenté à la Société, permet de calculer l'angle de déviation.

M. Armengaud traite ensuite l'application, aux aérostats dirigeables, des moteurs légers par l'électricité, la vapeur et le mélange tonnant. Il fait connaître, pour les moteurs à hydrocarbure, les résultats de l'enquête qu'il a faite près des principaux constructeurs d'automobiles. Il termine en formulant les règles, qui, selon lui, doivent être adoptées dans la construction des futurs ballons dirigeables, et notamment les suivantes :

1° Rapprocher le plus possible l'arbre de l'hélice motrice de l'axe de l'aérostat ;

2° Laisser toutefois entre cet axe, qui passe par le centre de pression, et le centre de gravité un intervalle assez grand pour avoir de la stabilité par le couple de rappel ;

3° Pour rendre plus immédiat l'effet du couple de rappel, surtout dans le cas des petits aérostats, y ajouter un couple de redressement auxiliaire obtenu par le déplacement, soit d'un poids mobile, soit du guide-rope, comme l'a fait M. Santos-Dumont.

4° Pour les gros aéronefs, employer deux hélices de propulsion, l'une à l'avant et l'autre à l'arrière, en les commandant par des moteurs distincts.

Cette dernière indication est empruntée au nouvel aéronef que fait construire M. Santos-Dumont pour son voyage au-dessus de la Méditerranée. Les Membres de la Société seront certainement unanimes dans les vœux à adresser au hardi aéronaute brésilien pour qu'il triomphe dans sa nouvelle et hasardeuse entreprise. Les tentatives récentes de MM. Henri de la Vaulx et de Castillon de Saint-Victor peuvent inspirer l'idée d'annexer un jour le déviateur et le stabilisateur de M. Hervé aux dirigeables qui auront à voyager au-dessus des mers.

M. Santos-Dumont a-t-il fait faire, oui ou non, un pas de plus à la science de l'aéronautique? Cest au point de vue technique qu'on doit, avant tout, se placer à la Société des Ingénieurs Civils.

Si MM. Renard et Krebs ont pu, dans les ascensions qui n'ont pas été répétées depuis 1885, diriger en revenant au point de départ un aérostat muni d'un moteur électrique, M. Santos-Dumont, par une manifestation éclatante, a démontré la possibilité de diriger un aérostat, muni d'un moteur à mélange tonnant, en atteignant un but fixé à l'avance et en revenant au point de départ, dans un temps également déterminé. Il a, en quelque sorte, maîtrisé l'espace et le temps. Avec la simple vitesse de 6,50 *m* il est facile de voir que le ballon « La France » aurait mis environ une heure pour faire le trajet aller et retour, que M. Santos-Dumont a accompli en une demi-heure, grâce à une vitesse propre moyenne de 8,50 *m*.

Depuis l'épreuve du 19 octobre, on commande des ballons dirigeables et une course se prépare pour l'an prochain. M. Santos-Dumont aura donc donné naissance à une nouvelle industrie qui sera celle de la locomotion aérienne.

Les découvertes fécondes en aéronautique demeurent éminemment françaises et ne perdent pas ce caractère avec M. Santos-Dumont, qui, ainsi que l'indique son nom, a du sang français dans les veines. On doit lui être reconnaissant d'avoir choisi notre pays pour champ de ses audacieuses expériences qui lui assurent, à côté de MM. Renard et Krebs, une gloire impérissable dans l'histoire de la navigation aérienne.

M. le Président, avant d'ouvrir la discussion, remercie M. Armengaud Jeune de sa très intéressante communication sur les expériences de M. Santos-Dumont, et rend avec lui un juste hommage à l'intrépide aéronaute, ainsi qu'à ses précurseurs MM. Renard et Krebs.

M. E.-L. Surcouf est de l'avis de M. Armengaud, lorsqu'il dit qu'il y a plusieurs parts à faire dans le succès remporté par M. Santos-Dumont; tout le monde est d'accord pour reconnaître son énergie, sa ténacité, et admirer le désintéressement dont il a fait preuve à la suite du concours organisé pour le prix fondé par M. Deutsch, l'un des

Membres de notre Société, prix qui a provoqué une émulation dont le signal avait été donné par l'Aréo-Club, à qui l'on doit une large part de reconnaissance.

Tout d'abord, M. Surcouf estime que, lorsqu'il s'agit d'un problème aussi important, posé devant l'humanité, la question de nationalité n'a plus rien à faire; mais, lorsque le problème est résolu, on a le droit et le devoir, dans chaque nation, d'en rechercher les auteurs, de les glorifier, de défendre les œuvres acquises et les résultats obtenus.

Or, M. Armengaud vient de dire que les résultats acquis par MM. Renard et Krebs en 1884, et par les frères Renard en 1885, ont été dépassés par M. Santos-Dumont.

M. Surcouf ne le croit pas. Il examine tout d'abord les premières expériences de M. Santos-Dumont, que M. Armengaud a passées sous silence.

Dès 1898, M. Santos-Dumont a construit un ballon, copie exacte de celui de notre éminent collègue, Giffard; comme son devancier, ce ballon s'est plié en deux et a précipité son aéronaute, qui n'a dû la vie qu'à son sang-froid. En 1899, il a ajouté une quille, et le ballon ainsi fait ressemble entièrement au second ballon Giffard. En décembre 1899, apparait le Santos-Dumont n° 3; la quille est rapprochée près de la nacelle, et plus près de cette dernière. C'est la reproduction du ballon de MM. Tissandier. M. Surcouf ne veut pas dire que M. Santos-Dumont a copié intentionnellement ses devanciers; lorsqu'on est plagiaire, on ne copie pas des erreurs. Ce sont des erreurs quand on les réédite, et des traits de génie, quand elles ont été imaginées pour la première fois. Ensuite, M. Santos-Dumont passe par le ballon n° 4 et le ballon n° 5, pour arriver au ballon n° 6, qui ressemble exactement à *la France*. Ceci prouve que, du premier coup, dans leurs expériences, sans tâtonnements, sans hésitation, les frères Renard et M. Krebs avaient immédiatement trouvé la forme qui devait conduire au succès.

Or, étant donnée cette similitude de forme, les deux appareils sont essentiellement comparables; les résultats peuvent donc être essentiellement comparés. On nous a dit tout à l'heure que le ballon Santos-Dumont aurait fait 8,50 *m* par seconde, mais on ne dit pas comment cette vitesse a été mesurée; et M. Surcouf demande à M. Armengaud de le renseigner à ce sujet. Il a dit qu'on a relevé une vitesse de 4,50 *m* par seconde à la Tour Eiffel. Or, d'après le tracé présenté par M. Armengaud on voit que, partant de Saint-Cloud, le ballon fait un tiers de son parcours, jusqu'à l'altitude de 100 *m*; un second tiers, à l'altitude de 200 *m*; et enfin, le dernier, dans l'altitude voisine de la hauteur de la Tour Eiffel. Puis il descend par ces différentes altitudes et revient à son point de départ.

Or, pour qu'on puisse déduire sa vitesse de celle du vent, il est indispensable que les différentes vitesses du vent aient été mesurées dans les différentes couches dans lesquelles le ballon a été immergé. Ces mesures ont-elles été prises, et, si elles l'ont été, M. Santos-Dumont avait-il emporté un baromètre enregistreur, dont la courbe permettrait de savoir à quel moment il a passé dans ces différentes couches?

Et si même ces mesures ont été faites, le résultat serait encore problé-

matique, alors qu'il y avait un moyen simple de mesurer cette vitesse, moyen imaginé par les frères Renard en 1884 et 1885, qui consiste dans l'emploi du loch aérien, appareil très simple, dont les données peuvent être considérées comme très approchantes. Il est constitué par un petit ballon rempli d'hydrogène, de façon qu'il se tienne dans l'air, autant que possible, sans monter et sans descendre. On le lâche amarré à un fil, et du choc léger qu'on reçoit au bout de la course, on déduit la vitesse de l'aérostat.

M. Armengaud peut-il dire si un appareil semblable a été emporté par M. Santos-Dumont? S'il ne l'a pas été, il faut en conclure que les vitesses n'ont pas été mesurées.

De plus, M. Armengaud a dit que le moteur faisait 20 *ch*, mais que ces engins donnaient assez rarement la puissance annoncée.

M. Surcouf répond que c'est M. Santos-Dumont qui a donné ce renseignement. Or cette puissance aurait dû être mesurée au frein. Si elle ne l'a pas été, il semble difficile d'en déduire la vitesse du ballon. Si la force de 16 *ch* a été portée à 20 *ch*, les chiffres deviennent les suivants : au lieu que la vitesse théorique de M. Santos-Dumont soit de 10 *m*, elle serait portée à 11,80 *m*. La force dont disposaient les frères Renard, en 1885, a été réellement de 6,6 *ch*. Il faut donc comparer ces deux chiffres, et non d'autres, avec les surfaces respectives des maîtres-couples des deux aérostats.

Il est facile de comprendre l'importance de ce point. Il s'agit de savoir si, des deux titres de gloire qu'ont acquis les frères Renard et le commandant Krebs en 1884-85, un seul doit subsister, celui d'avoir, les premiers, dirigé un ballon, lequel leur est définitivement acquis, ainsi que M. Armengaud l'a reconnu tout à l'heure.

A ce propos. on a dit que M. Santos-Dumont avait réalisé le problème dans des conditions particulièrement difficiles, parce qu'il était parti d'un point déterminé, pour faire le tour d'un point désigné, et revenir à un point déterminé, dans un temps donné! Le problème était exactement le même pour les aéronautes de *la France*, sauf les changements d'itinéraire. On ne peut pas dire non plus que leur retour puisse être attribué à une saute de vent, car ils ont ramené le ballon *la France*, à Chalais, cinq fois sur sept voyages ; et une autre fois il y a eu un incendie à bord, qui a obligé les aéronautes à descendre à Vélizy.

Les frères Renard et le commandant Krebs, les premiers, ont dirigé un ballon, sont revenus à leur point de départ, et cela identiquement dans les mêmes conditions que M. Santos-Dumont, avec cette différence pourtant qu'ils disposaient d'un moteur de 44 *kg* par cheval, alors que M. Santos-Dumont avait un moteur de 4 *kg* par cheval. Pour que le second titre leur soit enlevé, il faut qu'il soit établi que leur vitesse a été dépassée, et non seulement effectivement, mais bien en tenant compte des moyens employés, c'est-à-dire en comparant le maître-couple des ballons, la force des moteurs et le poids des machines. Ceci est indispensable. M. Surcouf demande donc des mesures précises à ce sujet; jusque-là, il sera permis de croire que, si M. Santos-Dumont a fait beaucoup pour l'industrie de la locomotion aérienne, si son mérite est indiscutable, ainsi que sa popularité justement conquise, l'opinion

publique n'a pas le droit d'oublier les frères Renard et le commandant Krebs et de fêter seul M. Santos-Dumont. La Société des Ingénieurs Civils, plus encore, ne saurait donner sa sanction à des résultats qui ne sont pas établis par des chiffres. Ce sont ces chiffres que demande M. Surcouf. Jusque-là, il persiste à croire que les frères Renard sont les inventeurs de la navigation aérienne, et que le record de la vitesse qu'ils détiennent n'est pas encore battu !

M. R. Soreau présente les observations suivantes, qui sont, à plusieurs reprises, troublées par des interruptions dans la salle. Il dit que toute la Société s'est associée à l'hommage mérité rendu par M. Armengaud à la ténacité et à la crânerie de M. Santos-Dumont : il ne pouvait en être autrement dans une assemblée d'hommes actifs qui, par profession, ont à lutter contre la matière et les éléments, et qui, mieux que personne, prisent à leur juste valeur les caractères et les énergies.

Ces sympathies ne peuvent cependant faire oublier à notre Société qu'elle a aussi, et surtout, un rôle scientifique : elle doit examiner la valeur intrinsèque des expériences, et rechercher si elles constituent un progrès réel sur les résultats déjà acquis. Cette discussion est d'autant plus désirable que le problème de la navigation aérienne passionne aujourd'hui tous les esprits.

Or, M. Soreau est convaincu que le dirigeable de M. Santos-Dumont ne réalise pas, tant s'en faut, un progrès sur les résultats antérieurs : non seulement il est en recul appréciable sur ce qu'il était immédiatement possible de faire en 1901, en reprenant le ballon de Chalais et en profitant simplement des améliorations considérables apportées à la légèreté des moteurs, mais encore il est, à tous égards, bien inférieur au ballon *la France* lui-même, dont les sorties remontent cependant à plus de seize années. Ce double point est important à établir pour rendre pleine justice aux mémorables expériences de MM. Renard et Krebs, qui constituent une des belles œuvres de la science française, et que les collaborateurs de M. Santos-Dumont ont tenues dans un oubli immérité,

Ce reproche ne s'adresse pas à M. Armengaud, qui n'a pas omis de rappeler les travaux de ces savants officiers. Mais, suivant M. Soreau. notre Collègue n'a pas appuyé suffisamment sur leur valeur hors pair, ni marqué la différence profonde qui existe entre les expériences de 1884-85 et celles de 1901 ; bien au contraire, il a prétendu que M. Santos-Dumont, en effectuant un parcours fixé, en virant autour d'un point déterminé, avait résolu le problème dans des conditions telles qu'il laissait loin derrière lui l'œuvre de ses devanciers.

Le plus grand titre de gloire des officiers de Chalais est d'avoir créé l'architecture du ballon dirigeable, qui existe aujourd'hui comme existe l'architecture navale. Cette science, dont les premières bases ont été posées par l'illustre Dupuy de Lôme, a été portée par le colonel Renard à un haut degré de perfection, et la belle expérience du ballon *la France* était la consécration tangible de cette œuvre magistrale. que continuent depuis, dans le silence de Meudon, les frères Renard et les officiers sous leurs ordres. M. Soreau aurait voulu pouvoir l'analyser ce soir, et montrer avec quel soin minutieux ont été étudiées la stabilité

.ongitudinale, la stabilité de route, la répartition des efforts, la décomposition de la résistance totale en résistance directe et en résistances de frottement, etc... L'heure avancée ne lui permet pas d'entreprendre cette analyse et il se borne à parler du tangage, pour qu'on se fasse du moins une idée des sujétions du problème, et qu'on puisse bien saisir toute la différence entre la valeur nautique du ballon *la France* et celle du *Santos-Dumont*.

Il établit d'abord la nécessité de bien calculer le ballonnet à air et d'assurer son fonctionnement : c'est pour n'avoir pas parfaitement réalisé les conditions voulues, qu'à diverses reprises M. Santos-Dumont a été dans l'obligation, sous peine de danger sérieux, d'arrêter son hélice. Mais si un ballonnet bien calculé et parfaitement établi met à l'abri de la formation des poches, il ne suffit pas à prémunir contre les effets du tangage. Celui-ci a des causes multiples : 1° déplacements relatifs de l'hydrogène et de l'air séparés par un diaphragme flou ; 2° curieuses pulsations de l'étoffe, découvertes et calculées par le colonel Renard, qui sont analogues au mouvement rythmé du sein, et donnent à l'énorme masse gazeuse un mouvement de flux et de reflux qui tend à augmenter d'amplitude ; 3° vagues aériennes, dont la découverte est due à M. Soreau, et qui intéressent particulièrement les dirigeables, en raison de ce fait qu'elles agissent surtout sur le ballon proprement dit, tandis que la nacelle, à cause de son inertie, conserve la vitesse propre, etc.

M. Soreau indique, sommairement, les principales dispositions prises par le colonel Renard pour arriver à combattre efficacement ces divers obstacles et, par conséquent, à restituer presque complètement la vitesse propre que permettait d'obtenir la pile chlorochromique si remarquable, inventée en vue des essais : étude minutieuse du ballonnet, avec soupape bien réglée et ventilateur ayant un moteur indépendant ; maître-couple ramené à l'avant pour diminuer l'action du courant relatif sur la proue, et augmenter son action sur la poupe ; gouvernail placé très en arrière de l'axe vertical d'inertie, et construit de façon à ne pas céder sous l'action de l'air ; calcul de la répartition des poids à l'aide de balancines, satisfaisant au principe de la suspension triangulaire et aboutissant à une longue nacelle ; gouvernail horizontal pour limiter le tangage, et disposition spéciale pour paralyser les mouvements de flux et de reflux des 1 860 m^3 de gaz ; détermination rationnelle du moment stabilisateur, etc. Grâce à ces précautions multiples, conformes aux règles de l'architecture aérienne, le tangage fut limité à 3 ou 4° ; grâce à elles, le succès fut assuré dès la première sortie, et, dans ses sept ascensions, le ballon *la France* évolua avec une suprême aisance, sans à-coups, avec le minimum de dangers, revenant à son point de départ cinq fois sur sept, et effectuant, par deux fois, un parcours supérieur à celui du prix Deutsch. Ce dirigeable n'aurait eu aucune difficulté à contourner la Tour Eiffel, et il ne peut d'ailleurs y avoir quelque mérite à réaliser ce critérium que pour un ballon mal établi, qui court le risque de venir s'y heurter.

Notre Collègue examine ensuite ce qui a été fait par M. Santos-Dumont. Après ce qu'a dit M. Surcouf, il ne veut pas insister sur les avatars de la série des ballons Santos-Dumont qui reproduit bien

inutilement la série française, mais il tient à expliquer qu'on a commis une faute en calquant les proportions du *Santos-Dumont n° 6* sur celles du ballon *la France ;* tous les Ingénieurs savent qu'on ne peut copier un navire sans précautions spéciales et, en particulier, sans étudier à nouveau sa stabilité. Or, le *Santos-Dumont* était plus petit que *la France* et visait à une vitesse plus grande : il est facile d'établir que, pour ces deux raisons, il fallait en combiner les diverses parties de façon à augmenter le couple stabilisateur. D'autre part, la forme en cigare, caractéristique trop connue du ballon de Chalais, avait été abandonnée, ainsi que l'hélice à l'avant; le gouvernail était beaucoup moins sûr qu'en 1885, aucun dispositif ne s'opposait aux mouvements de flux et de reflux de la masse gazeuse, le ventilateur du ballonnet n'avait pas de moteur indépendant, de sorte que l'étoffe n'était plus tendue dès qu'on stoppait, etc., etc.

De tout cela, il est résulté des mouvements de tangage exagérés qui ne permettaient pas d'utiliser la force motrice, beaucoup plus considérable qu'il y a seize ans : non seulement on n'obtint pas la vitesse de 11,80 *m* qu'on aurait dû obtenir si la stabilité eût été égale à celle de *la France*, mais encore on ne dépassa pas la vitesse de ce ballon, qui a été de 6,50 *m*.

Cette importante question de la vitesse obtenue par *le Santos-Dumont n° 6* n'a pas été élucidée, et M. Soreau demande quel degré de certitude peut présenter le chiffre de 8,50 *m* produit ici pour la première fois et bien supérieur à ce qu'on a annoncé jusqu'à présent, alors que M. Santos-Dumont n'a pas eu le loisir de faire la moindre observation, qu'il n'avait pas emporté d'appareils enregistreurs, que la vitesse du vent aux différents points où il a passé nous est parfaitement inconnue, que même la trajectoire aérienne qu'on nous a montrée n'a pu être établie que de chic. M. Soreau, se rencontrant en cela avec quelques personnes particulièrement compétentes, a cherché à apprécier entre quelles limites la vitesse propre a dû vraisemblablement se tenir : il estime que c'est entre 6 et 7 *m* ; mais l'heure très avancée ne lui donne pas le loisir de développer ses calculs, ce qu'il se propose de faire ultérieurement.

En résumé, le ballon *Santos-Dumont* n'a pu avoir une vitesse propre sensiblement supérieure à *la France*, et il lui est très inférieur comme qualités nautiques : on est donc mal fondé à soutenir que M. Santos-Dumont a laissé loin derrière lui les résultats acquis, dès 1885, par les Ingénieurs français.

Cela fût-il vrai que nous aurions à examiner s'il a fait faire un progrès réel à la science, ou plutôt à la *technique* du ballon dirigeable. En 1901, cette technique avait deux choses à son actif : les résultats certains obtenus en 1885, et les progrès non moins certains des moteurs à gaz dans ces seize dernières années, progrès qui ont fait baisser le poids du cheval dans la proportion d'au moins 8 à 1. Or, à stabilité égale, la puissance motrice est proportionnelle au cube de la vitesse : donc, en remplaçant l'ancien moteur de *la France* par un poids égal des nouveaux moteurs, simplement pris dans le commerce, et en modifiant le couple stabilisateur, eu égard au changement apporté dans la vitesse,

on aurait obtenu une vitesse d'au moins $6,50 \sqrt[3]{8} = 13\ m$. Voilà où en était le problème avant M. Santos-Dumont!

On fait un mérite à l'intrépide aéronaute d'avoir risqué sa vie : ce mérite est, en effet, très réel, mais il est commun à tous ceux qui ont tenté de résoudre la direction des ballons, à commencer par Giffard, qui eut le premier la hardiesse de mettre une machine à feu sous un aérostat; Schwartz, Wœlfert et Zeppelin eurent plus tard recours à un moteur à pétrole avant M. Santos-Dumont. Ce dernier a couru, de son fait, des dangers plus sérieux que MM. Renard et Krebs, et c'est ce qui semble avoir fait le plus d'impression sur le public. Mais le rôle de l'Ingénieur n'est-il pas d'obtenir un résultat avec le minimum de dangers?

En passant, M. Soreau rectifie une citation que M. Armengaud a bien voulu faire de son Mémoire de 1893, couronné par la Société: dans le poids cité entrent les approvisionnements, l'eau de refroidissement, les assises, etc., comme il convient quand on étudie les moteurs appliqués à la navigation aérienne; dès cette époque, M. Soreau prévoyait la possibilité de descendre à 30 *kg* par cheval tout compris, ce qui ne fait guère que 20 *kg* pour le moteur proprement dit, et il ajoutait que ce moteur devrait être à quatre cylindres équilibrés : c'est le type employé depuis par M. Santos-Dumont. Il pouvait aussi, à cette époque, y avoir quelque mérite à affirmer hautement le développement du ballon dirigeable, alors que beaucoup se moquaient, et les futurs conseillers techniques de M. Santos-Dumont plus que personne, des visionnaires qui prétendaient diriger les aérostats.

Pour en terminer avec le point de vue scientifique, M. Soreau exprime le regret que M. Santos-Dumont n'ait pas jugé utile, après tant et tant de sorties infructueuses, de tenter d'autres sorties pour consacrer un succès que beaucoup ont pu attribuer à des circonstances favorables. Le hardi coureur du prix Deutsch a préféré s'abstenir, pour protester contre ceux qui lui refusaient ce prix; c'était son droit absolu, mais, ce faisant, il se tenait sur le terrain sportif, et le monde savant lui aurait su gré de ne pas se cantonner exclusivement sur ce terrain.

Ces critiques faites, M. Soreau reconnait volontiers que M. Santos-Dumont a eu un mérite très réel : il a montré, et toutes ces critiques mêmes en sont une preuve, que le ballon dirigeable est mûr, qu'il peut entrer dès demain dans la construction presque courante; d'autre part, M. Santos-Dumont a provoqué la générosité des Mécènes et orienté certaines activités dans une voie nouvelle.

Et si, dans l'entourage du hardi aéronaute, on s'était montré plus uste pour les mémorables expériences de Chalais, M. Soreau aurait applaudi sans réserve à la tenacité et à l'intrépidité de M. Santos-Dumont.

M. Armengaud jeune proteste contre les critiques de M. Soreau; il maintient ses appréciations sur la vitesse réalisée par M. Santos-Dumont et regrette que l'heure avancée ne lui permette pas de reprendre sa démonstration à ce sujet, en la complétant. Il se propose de répondre, dans une autre séance, et à M. Soreau et à M. Surcouf. Mais, dès main-

tenant, il tient à renouveler hautement ses félicitations à M. Santos-Dumont pour avoir fait sortir de l'ombre et du silence, où elle paraissait plongée en France, la question de la direction des ballons ; il a réveillé, d'un sommeil de seize ans, la solution pratique indiquée par les officiers de Chalais, et donné l'essor à la locomotion aérienne qui sera, certainement, une des manifestations les plus séduisantes de l'activité humaine. Si, pour son début, il n'a pu relever toutes les mesures de vitesse et autres qu'on aurait pu souhaiter, c'est qu'il a plutôt voulu obtenir un résultat qu'en mesurer les effets. N'a-t-on pas laissé rouler, pendant cinquante ans les trains de chemins de fer avant d'étudier d'une façon précise l'allure de la locomotive ?

M. le Président pense que la discussion ne doit pas dégénérer en s'attardant aux questions de personne. Sans s'arrêter plus longtemps à comparer les mérites relatifs de M. Santos-Dumont et de ses devanciers, il convient de rendre hommage aux uns et aux autres, comme tout le monde l'a fait d'ailleurs dans cette enceinte, et de chercher à tirer, de la hardie tentative du nouvel aéronaute, toutes les conséquences techniques qu'elle comporte. C'est pour cela qu'il sera très intéressant d'entendre la réponse de M. Armengaud aux questions précises que lui a posées M. Surcouf. Il sera également intéressant de renouveler l'expérience de M. Santos-Dumont dans des conditions qui permettent de faire, avec précision, toutes les mesures utiles. Enfin, il sera très intéressant de discuter l'opinion, émise par M. Soreau, qu'en combinant les règles de construction des ballons dirigeables données par M. le colonel Renard avec les moteurs employés par M. Santos-Dumont, on peut, avec certitude, obtenir des résultats supérieurs à ceux de Renard et de Santos-Dumont. Cette discussion mérite, certainement, d'être reprise dans une séance ultérieure.

M. le Commandant Renard dit que tout le monde est persuadé, ici, que le progrès de la navigation aérienne par ballon dirigeable se chiffre par un seul élément : celui de la vitesse de l'aérostat par rapport à l'air supposé calme. Si M. Santos-Dumont a eu une vitesse supérieure à celle du ballon *la France*, il a fait faire un pas à la question ; sinon, il ne l'a pas fait avancer. A-t-il obtenu une vitesse supérieure ? Pour le savoir, il faut connaître quelle était la vitesse de *la France* en 1885, et quelle a été la vitesse du ballon de M. Santos-Dumont. La vitesse de *la France* est connue ; pour le ballon de M. Santos-Dumont c'est plus difficile, sinon impossible. Pour savoir la vitesse d'un ballon, il y a deux manières : l'une, de la mesurer soi-même, comme cela a été fait en 1885, où il y avait trois aéronautes dans la nacelle : l'un tenait le gouvernail, réglait la vitesse de la machine et conduisait le ballon, comme on conduit un automobile ou un bateau ; l'autre réglait l'altitude du ballon comme s'il s'était agit d'un ballon libre ordinaire ; et le troisième, qui était M. le Commandant P. Renard, s'occupait des mesures. M. Santos-Dumont, qui était seul, a pu faire la première opération, celle de conduire le ballon en direction ; il a pu faire tant bien que mal la seconde, celle de régler l'altitude, mais il n'a pas pu faire du tout la

troisième, c'est-à-dire, prendre ses vitesses. Ses vitesses nous échapperont donc toujours.

Un autre moyen consiste à connaître exactement la projection de la trajectoire sur le sol, ainsi que le diagramme d'altitude et la vitesse du vent aux différents points où s'est successivement trouvé l'aérostat. Cela peut se faire avec des stations conjuguées, avec des anémomètres permettant d'obtenir la vitesse du vent à différentes hauteurs. Les mesures de ce genre exigent une organisation compliquée, analogue à celle qui a eu lieu pour observer le ballon Zeppelin. Ces mesures n'ont pas été, qu'on sache, prises pour M. Santos-Dumont. Si la vitesse propre de M. Santos-Dumont avait été très supérieure à celle de *la France*, des mesures élémentaires permettraient de le constater; il n'en est pas ainsi : la supériorité, si elle existe, est assez faible, ce qui explique la divergence des opinions en l'absence de mesures incontestables. Il faut espérer que, dans les nouvelles expériences qu'il se propose d'exécuter, M. Santos-Dumont comblera cette lacune et donnera des mesures exactes de sa vitesse et M. le Commandant Renard souhaite de tout cœur qu'il réalise un progrès sur ses devanciers.

M. le Commandant Renard dit qu'il est très heureux de voir combien la Société des Ingénieurs Civils s'intéresse à cette question de la navigation aérienne. C'est le souvenir qu'il gardera de la discussion qui a été suivie avec tant d'attention par la Société, c'est pour lui une récompense précieuse.

En terminant, M. le Commandant Renard rappelle que, comme l'a dit M. Soreau, le Colonel Renard considère que son premier titre de gloire est d'avoir créé l'architecture du ballon dirigeable, et fait ainsi, en aéronautique, œuvre d'ingénieur. C'est à ce titre que son premier élève ne se croit pas déplacé à la Société des Ingénieurs Civils de France, qu'il remercie de son bienveillant accueil.

M. le Président est certain d'être l'interprète de ses Collègues, en disant que M. le Commandant Renard, loin d'être déplacé à la Société des Ingénieurs Civils, l'a honorée par sa présence, car tout le monde a été unanime à reconnaître le mérite qui revient à son frère, M. le Colonel Renard, et à lui-même.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. L.-C. Anger, H.-G. Beuner, A. Cornuault. R.-L. Épron, R.-G. Guillery, E. Maillebiau, E. Mera, A. Révérand, comme Membres Sociétaires et de

MM. A. Bloch, L. Harant, E.-E. Lairez, comme Membres Associés;

MM. M.-M.-P. du Bois d'Auberville, A. Combet de Larenne, V. Couallier, F.-X. Delauzun, J. Garin, P.-L. Henriot, E. Pionnier et R.-F.-M. de Weck ont été reçus Membres Sociétaires.

La séance est levée à minuit un quart.

Le Secrétaire,
Georges Courtois.

ANNEXE

AU PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DU 22 NOVEMBRE 1901

A la suite de la communication et de la discussion sur les aérostats dirigeables, la Société a reçu les lettres suivantes :

Paris, le 25 novembre 1901.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Je n'ai pu assister à l'intéressante séance du vendredi 22 novembre et je le regrette d'autant plus que je vous aurais certainement demandé la parole ; voici pourquoi :

Au cours de la séance, il a été dit (et personne n'a relevé cette parole) que M. Santos-Dumont avait rempli les conditions du programme du prix Deutsch. Or, mon opinion est précisément contraire à cette affirmation ; je l'ai soutenue au sein de la Commission scientifique d'aérostation chargée de décerner le prix Deutsch (dont je fais partie comme membre du Conseil d'administration de l'Aéro-Club) ; j'ai même proposé un ordre du jour dans ce sens, et j'ai eu le plaisir de voir un certain nombre de mes Collègues penser comme moi.

Je suis très heureux d'avoir une occasion de faire publiquement connaître les arguments exacts que j'ai émis en cette occasion, car, dès le lendemain de la séance de cette Commission, on a pu lire, dans la presse quotidienne et incompétente, de prétendus comptes rendus absolument déformés. Certain Membre de la Commission n'a pas craint d'en signer un, malgré l'assurance que nous nous étions donnée de ne pas porter nos discussions au dehors de la Commission. J'estime que, par là, il m'a rendu toute liberté, sinon de répéter les paroles de mes Collègues, du moins d'établir d'une façon précise la proposition que j'ai faite ainsi que ses motifs.

J'avoue, du reste, que les dires de la presse quotidienne n'ont aucunement nui à ma quiétude ; mais, puisque l'exposé des expériences de M. Santos-Dumont a été fait à la Société des Ingénieurs Civils de France, et qu'il y a même eu discussion à ce sujet, je suis très désireux que la présente lettre soit jointe à la discussion et soit considérée comme un de ses éléments.

Voici, en résumé, les faits :

a) M. Deutsch, voulant exciter l'émulation parmi les personnes qui s'occupaient de la locomotion aérienne, mit, en 1900, à la disposition de l'Aéro-Club la somme de cent mille francs, comme prix d'un concours dont il indiquait les grandes lignes, tout en laissant à l'Aéro-Club le soin d'en régler les détails précis.

b) L'Aéro-Club chargea de l'élaboration de ce règlement sa Commission scientifique d'aérostation, qui est composée, partie de membres de

l'Aéro-Club, et partie de personnalités scientifiques non membres du Cercle, mais dont la présence est supposée augmenter le poids des décisions de la Commission.

c) M. Deutsch avait tout d'abord proposé, comme programme, de partir de Paris, aller atterrir sur la terrasse de Saint-Germain, puis revenir à Paris, et cela dans un temps limité. Ces conditions semblant bien sévères, il avait ensuite demandé que, pour gagner le prix, le concurrent partît du parc de l'Aéro-Club (sis à Saint-Cloud), doublât la Tour Eiffel et revînt *atterrir* dans le parc; le tout, dans l'espace de trente minutes.

d) C'est à ce dernier programme que la Commission se rallia; seulement, pour l'atténuer encore, elle n'exigea pas d'une façon formelle l'atterrissage. L'article 6, en effet, est ainsi conçu :

« Partir du parc d'aérostation de l'Aéro-Club; décrire, sans toucher » terre, et par les seuls moyens du bord, une courbe fermée de façon » que l'axe de la Tour Eiffel soit à l'intérieur du circuit; *revenir au point » de départ*, dans le temps maximum d'une demi-heure. »

De plus, la Commission se réservait toute espèce de droit d'interprétation et même de modification au règlement, par l'article 10, ainsi conçu :

« Les décisions de la Commission sont sans appel. Les concurrents, » par le fait même de leur inscription, s'engagent à les accepter, comme » aussi à se conformer au présent règlement et aux *modifications ultérieures* que la Commission pourrait y apporter, notamment, en ce qui » concerne les détails de l'organisation du concours. »

e) Il convient d'ajouter que ce concours était ouvert tous les ans, du 1er mai au 31 octobre. Les concurrents s'engageaient, moyennant le versement d'un droit. Cet engagement était valable pour une période de quinze jours après laquelle ils devaient s'engager à nouveau. M. Deutsch avait fixé, au 15 avril 1905, la dernière limite du concours; après cette date, il redevenait maître du prix non attribué. Tant que ce prix ne serait pas décerné, l'Aéro-Club disposait de son revenu.

f) Entre autres concurrents, s'est trouvé M. Santos-Dumont. Après quelques essais malheureux, il améliora graduellement ses ballons, et vers le mois de juillet dernier, les personnes qui, comme moi, suivaient ses efforts, avec beaucoup d'intérêt, pensèrent que le moment n'était pas éloigné où il pourrait réaliser les conditions du prix Deutsch. Mais alors se posa la question des moments précis où départ et arrivée devaient être comptés. Et aussi la question de savoir qui avait qualité pour chronométrer officiellement la durée de l'épreuve et de constater que la Tour Eiffel était réellement doublée.

g) La Commission se réunit donc d'urgence à la date du 10 septembre 1901. Je copie les paragraphes suivants dans le compte rendu officiel de cette séance :

« Tous les Membres sont d'accord sur la nécessité d'avoir une preuve » tangible et irrécusable de la présence du ballon dans *l'enceinte du parc.* » *Si l'on n'exige pas la descente effective*, c'est à cause des difficultés ma-

» térielles qui s'opposent à son exécution et des délais qu'elles entraî-
» neraient.

» Il est décidé, à l'unanimité, que le départ a lieu à l'instant physique où le guide-rope, ou le dernier cordage attenant au ballon, est abandonné par les personnes placées dans l'enceinte du parc d'aérostation.

» Après une discussion à laquelle prennent part tous les Membres présents, il est décidé que l'arrivée a lieu au moment physique où une personne placée dans l'intérieur du parc saisit, soit le guide-rope, soit tout autre cordage attenant au ballon. Le cordage peut se rompre, ou la personne peut lâcher prise sans que l'arrivée cesse d'avoir lieu. »

Au cours de la discussion dont il est question ci-dessus, certains Membres avaient demandé que l'arrivée fût considérée comme valable au moment où le ballon passerait au zénith du parc. Cette proposition fut repoussée par la majorité de leurs Collègues, qui estimèrent, avec raison, que, pour qu'un ballon dirigeable fût digne de ce nom, il fallait qu'il pût se déplacer, à volonté, aussi bien dans un plan vertical que dans un plan horizontal, et qu'un ballon passant à 1 000 *m* au-dessus du parc s'en trouverait aussi éloigné que s'il en passait à 1000 *m* à droite ou à gauche. Du reste, le donateur avait nettement exprimé ses idées à ce sujet, puisqu'il avait été jusqu'à demander l'*atterrissage réel* du ballon, dans le délai d'une demi-heure.

La Commission désigna en même temps les personnes chargées de chronométrer officiellement et aussi de surveiller le parcours à la Tour Eiffel.

h) Par une lettre qu'il adressa à la presse, M. Santos-Dumont protesta contre cette décision.

i) Sur ces entrefaites, le ballon dont il se servait ayant, comme ses devanciers, été détruit, au cours d'un essai infructueux et, du reste, plusieurs quinzaines s'écoulant, M. Santos-Dumont dut s'inscrire de rechef, en payant de nouveau, chaque fois, le prix de l'engagement.

j) Enfin, dans sa sortie du 19 octobre 1901, M. Santos-Dumont partit du parc de l'Aéro-Club, doubla la Tour Eiffel et revint au parc.

Le rapport du chronométreur officiel, dont personne n'a contesté l'exactitude, porte que 29 minutes et 30 secondes, après le départ, le ballon de M. Santos-Dumont se trouvait de retour au-dessus du parc, son guide-rope pendait, et l'extrémité inférieure en était à 40 ou 50 mètres au-dessus du sol. Le ballon fit alors un circuit en continuant à descendre vers le sol et il se trouvait de nouveau au-dessus du parc à 30 minutes et 40 secondes. A ce moment l'extrémité du guide-rope était à portée de la main et fut saisie par une personne placée dans l'enceinte du parc.

Des faits matériels et incontestés rapportés ci-dessus, il résulte d'une façon évidente :

1° Que la Commission est restée dans ses droits les plus stricts en déterminant d'une façon exacte les moments où devaient être comptés le

départ et l'arrivée. Ce faisant, elle n'a fait que *préciser* un point d'un règlement qu'elle avait même le droit de *modifier* ;

2° Qu'elle est même restée en deçà des désirs du donateur qui, lui, avait demandé *l'atterrissage*. En effet, il faut mettre beaucoup de bonne volonté pour considérer comme un atterrissage le fait qu'une personne saisisse momentanément un cordage quelconque du ballon. C'est là, ce que l'on peut appeler un *atterrissage théorique*; et, en l'admettant comme suffisant, la Commission se montrait extrêmement large, vis-à-vis des concurrents;

3° Que M. Santos-Dumont ne peut arguer qu'il a ignoré cette retouche au règlement, puisqu'il a protesté contre elle;

4° Qu'en admettant qu'il y ait pu avoir un doute, quant à la légitimité de l'application du nouveau règlement à des ballons engagés, alors que l'ancien règlement était en vigueur, ce doute ne saurait exister, en ce qui concerne des ballons engagés postérieurement à la rédaction du nouveau règlement.

La conclusion qui s'impose est donc :

M. Santos-Dumont n'a pas rempli les conditions du prix Deutsch, dans son expérience du 19 octobre 1901.

Voilà exactement ce que j'ai exposé à la Commission. Logiquement, je devais donc proposer la conclusion pure et simple ci-dessus au vote de mes collègues. Je ne l'ai pas fait, pour les raisons suivantes : la presse quotidienne prétendait que M. Santos-Dumont avait remporté le prix Deutsch, et elle avait, par avance, discuté en termes pas toujours corrects ni bienveillants la décision que nous devions prendre. On avait cherché à créer, par ce moyen, et par d'autres encore, une véritable pression morale sur la Commission. Je craignais que certains de mes collègues n'y eussent pas échappé et ne fussent peu désireux d'être pris à partie et discutés à cette occasion. Un membre de la Commission s'était en outre permis de lire au cours de la séance une consultation d'avocat concluant aux droits de M. Santos-Dumont sur le prix, comme si un pareil document pouvait nous inspirer la crainte d'un procès. Dans ces conditions, la conclusion nette ci-dessus n'aurait probablement pas réuni plus de quatre ou cinq voix. J'avoue avoir été opportuniste en cette circonstance, et pour rallier à ma proposition un plus grand nombre de mes collègues, j'ai ajouté à cette conclusion des considérants élogieux (mérités, du reste, à mon avis) à l'égard de M. Santos-Dumont, et en raison desquels je proposais à la Commission de lui attribuer le montant du prix à titre d'encouragement, bien qu'il n'eût pas rempli les conditions du règlement.

J'espérais, par là, sauvegarder tout au moins le principe, puisque je voyais bien que je ne pouvais faire réserver le montant du prix pour un concurrent éventuel qui, lui, aurait réellement rempli les conditions du règlement.

Je n'ai pas été fort loin de réussir puisque sur vingt-quatre membres présents (dont un collaborateur de M. Santos-Dumont, auquel ce dernier a, depuis, publiquement remis la somme de vingt mille francs pour le récompenser de ses bons services), ma proposition a réuni neuf

voix contre treize qui ont déclaré que M. Santos-Dumont avait purement et simplement *gagné* le prix Deutsch (on n'a pas osé dire qu'il avait rempli les conditions du règlement). Il y a eu deux abstentions.

Pour dissiper tout malentendu, et pour montrer que je n'ai pas le moindre parti pris, je désire dire :

1° Que je n'ai aucune espèce « d'amour-propre d'auteur » en ce qui concerne le règlement, car je me suis trouvé absent quand on l'a élaboré et quand on l'a modifié ;

2° Que (laissant de côté l'opinion que je puis avoir sur les mérites techniques de M. Santos-Dumont et sur la valeur de ses expériences) j'ai beaucoup admiré son courage en plusieurs occasions, et que, toutes les fois que j'ai assisté à ses expériences, je me suis personnellement mis à la disposition de cet ex-camarade de l'Aéro-Club ;

3° Que, pour ma part, je regrette sincèrement qu'il ait échoué si près du port, manquant le prix Deutsch de 40 secondes, alors que par sa persévérance et son courage, il avait mérité d'avoir plus de chance.

Je vous prie, Monsieur le Président, d'excuser cette trop longue lettre, mais je désirais vivement que ce point de l'histoire de la navigation aérienne fût définitivement fixé, et je ne pouvais certes pas, pour exposer les faits précédents, trouver une tribune meilleure que celle de la Société des Ingénieurs Civils de France, ni m'adresser à des personnes plus compétentes et indépendantes que mes collègues.

Recevez, Monsieur le Président, l'assurance, etc.

G. de Chasseloup-Laubat.

Versailles, 25 novembre 1901.

Monsieur le Président,

La discussion de vendredi sur l'aéronautique a mis en lumière ce fait connu, que les chercheurs se laissent souvent absorber par leur idée au point de recommencer les fautes de leurs devanciers et de profiter peu de leur acquis.

Je voudrais, à cette occasion, rappeler aux chercheurs les desiderata principaux et les moyens déjà indiqués pour les atteindre. Si ces moyens ne paraissent pas les meilleurs, du moins ils engageront à chercher.

Voici d'abord les desiderata : Forme précise ; pas de tangage ; stabilité ; résistance minima au vent relatif ; ne perdre ni gaz ni lest.

Si la forme a une importance énorme au point de vue de la résistance à l'avancement, et on ne saurait le contester, il faut que la forme adoptée, que je suppose bonne, soit conservée. Pour cela, il faut que la pression du gaz dans l'aérostat reste au maximum admis pour la résistance de l'étoffe. L'appendice devrait être fermé par une soupape réglée à cette pression. Lorsque cette soupape donnerait passage au gaz, celui-ci se rendrait, par un tube étanche, dans une outre souple contournant

la nacelle à l'intérieur. Lorsqu'on voudrait rendre le gaz à l'aérostat, par un appareil convenable, le poids des parois de l'outre faciliterait le retour du gaz. — On comprend que ce déplacement du gaz ne change rien à la sustentation. — Bien que ce jeu du gaz pût dispenser du ballonnet, il est prudent de le conserver.

On sait qu'un faible écart de poids fait beaucoup varier l'altitude. Ainsi une différence de quelques kilos déplace verticalement de 500 *m* un aérostat portant 1 000 *kg*. Ce faible écart ne pourrait-il pas être obtenu par compression d'air, soit dans le ballonnet, soit ailleurs? Si l'air du ballonnet avait une certaine tension au départ, il y aurait là une réserve de force ascensionnelle.

Le tangage ne nuit pas seulement à la stabilité, il accroît beaucoup la résistance en augmentant l'angle d'incidence du vent relatif. Le tangage est dû principalement au couple horizontal résultant de la propulsion de l'hélice et de la résistance du ballon. Il paraît essentiel que l'axe de propulsion corresponde à l'axe principal de résistance. On peut l'obtenir de deux manières :

1° Avec deux ballons conjugués, l'axe de l'hélice étant dans le plan horizontal des axes des ballons et dans le plan vertical de symétrie. Le moteur serait dans la nacelle, avec transmission à l'hélice par courroie. Quelques-uns des liens de la nacelle au ballon seraient rigides pour empêcher leur rapprochement. Ce système aurait le grand avantage de permettre une voile horizontale tendue au-dessus des ballons, et formant parachute toujours prêt en cas d'accident;

2° Avec un seul ballon. Dans ce cas, il ne serait aucunement nécessaire que l'axe de l'hélice traversât l'aérostat. Cet axe serait remplacé presque entièrement par un cadre entourant l'aérostat, et qu'il serait facile de faire rigide et léger. Le moteur serait toujours dans la nacelle, etc.

Au point de vue de la résistance à l'avancement, l'aérostat doit être aussi effilé que d'autres considérations le permettent. La nacelle pareillement. Elle doit être entourée d'une étoffe bien lisse et tendue pour diminuer la résistance de rencontre et le frottement. Il serait même bon de renfermer les agrès dans des gaines offrant les mêmes avantages.

Avec ces diverses dispositions, la stabilité serait très bonne.

Si l'heure n'avait pas été aussi avancée, j'aurais désiré exprimer ces remarques à la dernière séance. Je souhaiterais, s'il se pouvait, qu'elles fussent mises à la suite du procès-verbal.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, etc.

A. de Bruignac.

Paris, le 2 décembre 1901.

Monsieur le Président,

Veuillez permettre à un modeste Ingénieur brésilien de venir protester contre les propositions émises par nos distingués Collègues, MM. Surcouf et Soreau, dans la séance du 22 novembre de la Société

des Ingénieurs Civils de France, au sujet du ballon *Santos-Dumont*.

Je n'essaierai pas, Monsieur le Président, d'analyser ou de discuter les avantages obtenus par mon compatriote dans ses expériences déjà célèbres; mon but est plutôt celui de démontrer que la déclaration faite par mes savants Collègues, disant que le ballon *Santos-Dumont* est une copie du ballon *la France*, est sans fondement.

C'est un principe fondamental que tout ballon dirigeable doit être allongé, et ce fait est par lui-même assez significatif pour expliquer la ressemblance qu'il y a toujours dans l'aspect des divers ballons dirigeables connus jusqu'à ce jour; cette ressemblance a été parfaitement démontrée par notre Collègue, M. Armengaud, dans les différentes projections qu'il a présentées de types variés d'aérostats dirigeables, français et étrangers, depuis Giffard, en 1852, jusqu'au *Santos-Dumont*.

Mais conclure de là à l'égalité des systèmes, dire, comme l'a fait M. Surcouf, que le ballon *Santos-Dumont n° 4* était la copie du ballon Giffard, mis en mouvement par la vapeur, que le *Santos-Dumont n° 5* était la copie du ballon *Dupuy-de-Lôme*, doué d'un moteur animé et, enfin, que le *Santos-Dumont n° 6* était la copie du ballon de Renard et Krebs, c'est méconnaître les caractères distinctifs de chaque système.

Déclarer, Monsieur le Président, que le ballon *Santos-Dumont n° 6* est la copie du ballon *la France*, c'est commettre une erreur scientifique, contre laquelle je viens protester de toute mon énergie.

Où est la ressemblance du ballon *la France* avec le ballon *Santos-Dumont?*

Est-ce dans la forme?

Mais la forme du ballon *la France* est *asymétrique*, il a la forme d'un cigare, plus gros à la proue, tandis que le *Santos-Dumont* a la forme *parfaitement symétrique*.

Et, à ce propos, qu'il me soit permis de rappeler un fait historique qui prouve où peut mener le désir de trouver une copie dans toute innovation : en effet, l'an 1884, avant les expériences des distingués aéronautes français, Renard et Krebs, un Brésilien, M. Julio Cesar Ribeiro de Souza, est venu à Paris, où il a fait des expériences, d'ailleurs sans succès — il faut le dire — avec un système de ballon dont la forme était exactement la *forme asymétrique* adoptée par MM. Renard et Krebs; M. Julio Cesar a alors prétendu que MM. Renard et Krebs avaient copié son système, et même les plans inclinés latéraux avec lesquels il essayait d'obtenir la direction, par la combinaison de la force ascensionnelle avec la composante normale de résistance de l'air, provoquée par ces plans, que M. Julio Cesar disait être dissimulés dans le ballon *la France* par l'immense surface donnée à la nacelle, qui était revêtue d'un tissu de soie.

A ce moment-là, j'ai dû soutenir, au Brésil, une chaude polémique pour prouver que le système Renard et Krebs était parfaitement original et différent du système Julio Cesar, et que la grande extension de la nacelle était destinée à maintenir la forme du ballon *la France*.

En même temps j'ai encore déclaré que, si les formes des deux ballons étaient exactement les mêmes, cela n'avait aucune importance, par suite de la différence qu'il y avait en tous les autres points princi-

paux, d'autant plus que la forme *asymétrique* avait déjà été proposée et adoptée, en 1850, par Julien, et c'est une forme qui, selon moi, n'est pas la plus convenable à des corps qui n'ont pas une surface rigide comme les aérostats actuels.

La ressemblance du ballon Santos-Dumont *avec le ballon* la France *est-elle alors dans la proportion de la longueur au diamètre?*

Mais cette proportion est de 50,42 *m* contre 8,40 *m* dans le ballon *la France*, tandis qu'elle est de 33 *m* contre 6 *m* dans le *Santos-Dumont nº 6*, et encore, en supposant que la proportion fût la même, cela n'indiquerait rien, parce que le plus grand diamètre du *la France* est dans la proue, tandis que celui du *Santos-Dumont* est au milieu.

Trouvera-t-on peut-être la ressemblance dans le moteur?

Mais non, puisque le moteur du *Santos-Dumont* est à pétrole et c'est Santos-Dumont qui l'a employé le premier avec succès, tandis que le ballon *la France* avait un moteur à électricité, déjà employé par Baumgarten et Wolfert, en mars 1882, et par Tissandier en 1883.

Il convient encore d'ajouter que, même pour la force des deux moteurs, la différence est complète : le ballon *la France* avait un moteur de 8,5 *ch*, et le *Santos-Dumont* en avait un de 20 *ch*.

Est-ce dans le système de monter et de descendre qu'est la ressemblance, qui a frappé nos chers Collègues au point de les engager à dire que le Santos-Dumont nº 6 *est la copie du* la France ?

Encore une fois, non, parce que Renard et Krebs n'avaient pas d'autre moyen de monter et de descendre, si ce n'est par le procédé déjà connu du jeu du lest et de la force ascensionnelle, tandis que Santos-Dumont a été le premier qui ait réalisé l'idée de monter et de descendre par le déplacement du centre de gravité; ce déplacement, produisant l'inclinaison du ballon vers le haut ou vers le bas, obligeait tout le système à monter ou à descendre par l'action de l'hélice; je tiens à insister sur ce fait, Monsieur le Président, parce que, à mon humble avis, c'est là un point capital, non seulement parce qu'il permet d'obtenir le couple de redressement, mais aussi parce que je crois que, dans la locomotion aérienne, la faculté de production de ce déplacement sera un élément de la plus haute importance pour la solution du problème si ardemment poursuivie.

Il est vrai que j'ai déjà entendu objecter que l'inclinaison du ballon provoquerait une plus grande résistance de la part de l'air, ce qui n'es pas, car la résistance d'un fluide est toujours dans la direction coïncidant avec celle du mouvement.

Est-ce dans la disposition de l'hélice?

Mais Santos-Dumont place l'hélice, qui a un diamètre de 5 *m*, en arrière, tandis que, dans le ballon *la France*, l'hélice, de 7 *m*, est en avant; et ce détail rend le gouvernail plus efficace dans le ballon *Santos-Dumont*, parce qu'il profite de l'action du courant d'air artificiel produit par le propulseur.

Est-ce dans l'usage du ballonnet compensateur?

Non, puisque ce ballonnet, indiqué pour la première fois par le savant général Meusnier, occupe dans le *Santos-Dumont nº 6* à peine la

partie centrale du ballon, tandis que dans *la France* il occupe presque toute la longueur du ballon, ce qui est d'une très grande importance pour la solution présentée par Dumont.

Est-ce dans la nacelle?

Non; celle du ballon *la France* est une nacelle ordinaire ayant une longueur considérable pour garantir mieux la forme du ballon, tandis que dans le système Dumont, la quille, très originale, que l'on y trouve, est une véritable poutre armée, tout à fait spéciale, où se trouvent conciliées deux qualités souvent incompatibles : celle de la légèreté et celle de la résistance.

Est-ce enfin au système de suspension?

Encore dans ce détail, il y a de grandes différences : Dumont fait la suspension, et il est le premier à le faire, par l'équateur du ballon; dans le *la France*, elle est faite par des filets qui passent sur le dos du ballon; et ce détail a son importance, non seulement parce qu'il peut diminuer le frottement, mais aussi parce qu'il contribue à la diminution du poids brut; et si cette dernière circonstance est importante pour n'importe quel système de locomotion, elle l'est encore davantage pour l'aérostation où à chaque kilogramme correspond, au minimum, une diminution d'un mètre cube dans le volume du ballon.

N'étant ni dans la forme, ni dans la proportion des dimensions principales, ni dans le système de moteur ou dans sa force, ni dans le système de monter et de descendre, ni dans la position de l'hélice, ni dans le système de nacelle, ni non plus dans le système de suspension, où MM. Surcouf et Soreau ont-ils trouvé la ressemblance qui les amena à qualifier de semblables deux systèmes si différents?

Non ! le ballon *Santos-Dumont* n'est pas la copie d'un autre, bien au contraire, il est assez caractérisé pour constituer un système typique dont les qualités et les défauts peuvent être discutés, mais qui a le droit incontestable d'avoir une place très saillante dans l'histoire des ballons.

Ici j'aurais dû terminer ma lettre, mais qu'il me soit permis de traiter, en passant, les deux points capitaux suivants : la question de stabilité et la question de vitesse propre.

Sur la question de stabilité, tous ceux qui ont assisté à la série d'expériences faites par M. Santos-Dumont ont constaté la parfaite stabilité statique dont son ballon est doué. Et, en ce qui concerne la stabilité de route, ni le ballon *Santos-Dumont*, ni celui de MM. Renard et Krebs, ni aucun autre de ceux connus jusqu'à ce jour n'ont pu en avoir, en vertu du manque de coïncidence du centre de traction avec le centre de résistance, de façon à éviter le couple qui en résulte et qui amène la tendance de relever la proue du ballon.

Renard et Krebs ont cherché à atténuer l'effet du couple en raccourcissant son bras du levier, c'est-à-dire en rapprochant autant que possible le centre de résistance de celui de traction; mais, malgré cela, le mouvement de tangage de leur aérostat a atteint une amplitude de 2 degrés,

Santos-Dumont, en employant une plus grande force motrice, et, par conséquent, en provoquant une plus grande résistance du milieu, avait

incontestablement un couple de plus forte intensité; il a cherché à en diminuer l'effet par la formation d'un couple compensateur ou couple de redressement provenant du déplacement, vers la proue, du guide-rope pendant le mouvement du ballon.

J'ai lu quelque part, il est vrai, que la force motrice doit correspondre exactement au volume du ballon, comme s'il n'était pas vrai que de l'augmentation du travail moteur dépend, en grande partie, la solution du problème.

Il est hors de doute que le tangage serait évité si l'on annulait le couple, non pas par l'annulation de la force, laquelle, bien au contraire, doit être augmentée autant que possible, mais par l'annulation du bras du levier, c'est-à-dire en faisant coïncider les centres de traction et de résistance.

Il est aussi incontestable que dans le ballon *Santos-Dumont*, plus sensible que le ballon *la France*, à cause de ses petites dimensions, il existe une autre cause de tangage, due à ce que son guide-rope reste toujours flottant, de sorte que, avec sa longueur de 100 *m* et son poids de 30 *kg*, il détermine, par ses oscillations, la variation constante de la position du centre de gravité, forçant le système à décrire une sinusoïde dans le sens vertical.

Et enfin, à propos de la vitesse, je tiens à dire que je ne crois pas à l'efficacité de l'emploi du loch aérien proposé par M. le colonel Renard. Ce loch est loin de pouvoir fournir les résultats que peut donner le loch maritime.

D'abord parce que le loch aérien ne peut pas être jeté à distance comme il arrive au loch maritime; et, ensuite, parce qu'il n'est pas doué d'une surface de résistance, ce qui détermine la fixité relative du loch maritime; néanmoins, ce n'est pas par l'emploi du loch maritime que l'on détermine la vitesse précise d'un bateau, mais par le temps mis à parcourir une distance préalablement connue. Le loch maritime sert plutôt comme auxiliaire indirect pour la détermination de la vitesse des courants maritimes par la comparaison du point estimé, donné par la navigation estimée et du point observé, fourni par la navigation astronomique.

Quels peuvent donc être les résultats scientifiques demandés par MM. Soreau et Surcouf autres que ceux fournis par M. Armengaud pour la détermination de la vitesse.

Et, après tout, n'est-ce pas par le temps mis à effectuer un parcours fixé que l'on obtient la vitesse des divers moyens de locomotion? Fait-on autrement pour connaitre la vitesse des chemins de fer?

Dans la locomotion aérienne, le fluide étant essentiellement mobile, ce que l'on doit exiger, c'est l'obligation de se rendre à un point fixé et de revenir au point de départ; la vitesse moyenne de l'aérostat est ainsi facilement déterminée; la vitesse du vent favorable dans un sens est défavorable dans le sens inverse; il est donc possible, pour cette raison' de connaitre la vitesse du système, soit que la vitesse ait été moindre, égale ou supérieure à celle du vent. La vitesse calculée par M. Armengaud est celle qui correspond aux résultats des expériences de Santos-Dumont.

Toutefois, s'il existe un doute dans l'esprit de nos Collègues, il suffirait de comparer les données de la question. D'un côté, le ballon *la France* cubant 1 864 m^3, ayant un moteur de 8,5 *ch*; de l'autre, le ballon *Santos-Dumont*, cubant 600 m^3, et ayant un. moteur de 20 *ch*; est-il possible que le premier ballon d'un volume triple, par rapport au second, et ayant un moteur deux fois et demi presque plus faible, puisse développer la même vitesse que le second, même en supposant, ce qui n'est pas, une grande supériorité dans tous les autres éléments du premier ballon ?

En outre, le ballon *la France*, dans son premier essai, fit un parcours de 7,6 *km* en 23 minutes, tandis que le *Santos-Dumont* a fait 13 *km* au moins en 29 minutes 15 secondes. Y a-t-il quelqu'un qui puisse douter que la vitesse du *Santos-Dumont* ne soit sensiblement supérieure à celle du *la France*.

La plus grande impartialité doit exister dans les questions scientifiques et, s'il est possible, dans celle dont nous nous occupons. Il n'y a pas un homme de science qui ne soit convaincu que, ni MM. Renard et Krebs, ni M. Santos-Dumont n'ont trouvé la solution du problème de la conquête de l'air, puisque ce n'est pas résoudre un problème de l'importance de celui-ci que de présenter une solution où on est, dans la plupart des cas, à la merci des vents. Ce qui est nécessaire, c'est d'atteindre une vitesse de 30 *m* par seconde, comme l'a si bien dit M. Banet-Rivet, et on y aboutira, à mon avis, lorsqu'on arrivera à faire coïncider les centres de traction et de résistance; lorsque le ballon et la nacelle, à l'instar des sous-marins, ne feront qu'un seul système rigide doué de cloisons pleines d'hydrogène ou d'un autre gaz plus léger, si l'on arrive à le trouver; lorsqu'à cause d'un déplacement graduel du centre de gravité on pourra, par l'inclinaison de l'axe propulseur, faire monter ou descendre le navire aérien; et lorsque, principalement, on aura trouvé un moteur de poids approximativement constant, dans lequel le poids par unité de cheval, y compris les accessoires, sera le minimum, capable non seulement de donner la propulsion, mais aussi de soutenir l'excès du poids sur la force ascensionnelle, au cas où il ne serait pas possible de l'éviter.

C'est donc à la Mécanique, cette science par excellence, de dire le dernier mot sur la matière.

Mais si Santos-Dumont n'a pas donné la solution finale du problème aéronautique, il n'a pas moins la gloire d'avoir travaillé d'une façon efficace pour la conquérir; et peut-être a-t-il montré le vrai chemin pour la solution de cet imposant problème destiné, sans doute, à amener des transformations sociales si importantes.

Carlos Sampaio,
Ingénieur Civil.

NOTES SUR LE TROISIÈME CONGRÈS
DE
L'ASSOCIATION INTERNATIONALE
POUR
L'ESSAI DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

tenu à Budapest, du 9 au 14 septembre 1901

I

SECTION DES MÉTAUX

PAR

M. E. LE BLANT

CHEF DU SERVICE DES RÉCEPTIONS DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DES CHEMINS DE FER DE L'EST

Monsieur le Président,
Messieurs,

Je vais avoir l'honneur de résumer rapidement devant vous les communications faites par d'éminentes personnalités au troisième Congrès de l'Association Internationale pour l'essai des Matériaux, tenu à Budapest en septembre dernier.

Je me bornerai aux rapports qui ont trait à la section des Métaux et je vous demanderai la permission de ne dire que quelques mots sur les communications qui n'ont été présentées au Congrès que sous forme de brochures. Elles ont, d'ailleurs, en ce cas, été presque toutes l'objet de publications antérieures.

Je serai aussi forcé de passer sous silence les communications en langues étrangères et qui n'ont pas fait, jusqu'à présent, l'objet de traductions en français.

J'entrerai immédiatement dans mon sujet, en faisant toutefois remarquer que je me suis efforcé de résumer les opinions des auteurs des communications sans avoir à prendre parti pour ou

contre, et je les prie d'avance de m'excuser si je n'ai pu, malgré ma bonne volonté, donner à ces résumés tout l'intérêt et la clarté que présentent leurs travaux.

Le Congrès a débuté et s'est terminé, comme tous les Congrès, par des discours de bienvenue et de remerciements. Mais on ne saurait trop dire tout haut combien nos hôtes de Hongrie se sont montrés aimables et empressés, sous tous les rapports, principalement à l'égard des Membres français du Congrès.

La France, — et en particulier la Société des Ingénieurs Civils — a été brillamment représentée à ce Congrès. L'ensemble des communications faites par les Membres français équivaut, comme nombre, à celui de toutes les autres nations réunies.

Enfin, une proposition faite par M. Édouard Sauvage engageant les autres nations à vérifier les conclusions présentées principalement par les Ingénieurs français, au sujet des essais de choc sur barreaux entaillés, a réuni l'unanimité des votants du Congrès, en séance plénière.

Mesure des efforts intérieurs dans les solides et applications,

par M. A. Mesnager, *Professeur à l'École des Ponts et Chaussées de Paris.*

Cette note débute par la constatation que, jusqu'à présent, on s'est contenté d'examiner les solides déformés et rompus et de faire quelques mesures de déformations élastiques. Le rapporteur attire l'attention du Congrès sur des méthodes précises, permettant de déterminer rapidement la direction et la grandeur des efforts intérieurs. Ces méthodes, basées sur des phénomènes lumineux, ne sont applicables qu'aux matières transparentes, mais on peut les appliquer par raisonnement aux autres matériaux en leur supposant le même degré d'homogénéité que celui des matières transparentes.

La note est divisée en trois chapitres :

1° Exposé et justification expérimentale de la méthode ;

2° Généralisation des résultats ;

3° Applications.

Dans le chapitre premier, l'auteur indique la façon de déterminer les efforts principaux et leur différence au moyen de deux prismes de Nicol, deux lentilles convergentes et un compensateur de Babinet-Jamin. Après avoir rappelé le principe et

le fonctionnement de ces appareils de physique, l'auteur formule les lois suivantes :

1° Les points où la lumière restera constamment éteinte sont ceux où les efforts normaux au rayon lumineux seront tous égaux en grandeur et en signe ;

2° Les points où la lumière n'est pas constamment éteinte sont ceux où les efforts principaux normaux au rayon lumineux sont inégaux ;

3° En mesurant le déplacement de la lame mobile du compensateur de Babinet, de façon à ramener la bande noire donnée par un rayon lumineux traversant une lame de verre sous tension, entre les repères où elle se trouvait quand la lame de verre n'était soumise à aucune tension, on aura un nombre proportionnel à l'effort dont la note donne le rapport en fonction de l'épaisseur de la lame de verre.

On a : 1° la direction des efforts principaux (extinction de la lumière quand les diagonales de base du polariseur ou de l'analyseur sont parallèles aux efforts principaux) ; 2° leur différence (déplacement de la lame mobile du compensateur).

Pour évaluer ces efforts, il suffirait donc de connaître leur somme : ce qui revient à mesurer la variation d'épaisseur en supposant connus les coefficients d'élasticité dans les deux sens de tension et de contraction transversale.

Pour mesurer des variations d'épaisseur de l'ordre de 0,03 de micron, l'auteur préconise un système très simple, composé de deux verres rapprochés et dont on mesure les variations de distance par le nombre de bandes noires formées par les anneaux d'interférence qui traversent un repère fixe, suivant que l'on applique ou non la force de déformation. La distance entre deux anneaux étant de 0,2945 micron, en appréciant 1/10 de la distance entre anneaux, on peut distinguer des efforts correspondant à un écartement de 0,03 micron.

L'auteur indique ensuite les dispositions pratiques du petit appareil et la façon dont on peut modifier l'écartement des franges suivant le grossissement dont on dispose, pour pouvoir apprécier le 1/10 de l'intervalle entre anneaux.

Dans le chapitre II, l'auteur se basant sur le compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris, mai 1898, d'une communication de M. Maurice Lévy, montre par le calcul que les formules d'élasticité à deux dimensions sont indépendantes des coefficients d'élasticité.

L'expérience et le calcul prouvent que la distribution des efforts ne se modifie pas d'une manière appréciable quand la pièce cesse d'être très mince, pourvu qu'elle soit limitée par des surfaces cylindriques normales aux deux plans parallèles et que les efforts extérieurs soient uniformément répartis le long de droites perpendiculaires aux deux plans parallèles.

Dans le chapitre III, la méthode est appliquée :

1° A déterminer l'effort réel sous lequel se produit la rupture d'une briquette de ciment de la forme en 8 ;

2° A l'étude des fissures des pièces cubiques comprimées entre deux plateaux ;

3° A une poutre uniformément chargée ;

4° Aux essais de flexion ;

5° Enfin, à la construction très simple d'un dynamomètre de compression permettant de mesurer jusqu'à 100 tonnes, avec une approximation de 1 kilogramme.

Rapport sur les différentes formes du carbone dans le fer,

présenté par M. LE BARON JEAN JÜPTNER DE JONSTORFF, Donawitz (Autriche).

L'auteur commence par faire remarquer que l'analyse chimique élémentaire des Métaux, telle qu'on l'exécute ordinairement, n'est pas appropriée lorsqu'il s'agit de se faire une opinion exacte au sujet des propriétés des métaux. Il en donne quelques exemples, comme l'évaluation de la quantité totale de C, qui ne donne aucun renseignement au sujet de savoir si on a affaire à un acier trempé et recuit, ou simplement recuit pendant longtemps, etc.

Ces exemples paraissent suffisants pour démontrer l'importance d'une analyse rationnelle, cherchant sous quelles formes et sous forme de quels composés chaque élément se présente dans les métaux.

Les méthodes d'analyses pour la détermination de ces différentes formes faisant encore malheureusement défaut, l'auteur se borne, pour le moment, à résumer l'état des connaissances actuelles à ce sujet.

S'appuyant sur des considérations tirées des travaux de MM. Carnot, Ledebur, Moissan, Rossel, Frank, Werth, Müller, Abel, de Mylivs, Förster, Schöne, Eggerts, Osmond, Howe, Sau-

veur, Hogg, Jüptner, Campbell, Le Chatelier, Mohs et Saniter, l'auteur conclut en distinguant comme formes de carbone dans le fer, quatre solutions :

1° L'austenite, solution de C dans Fe;

2° La martensite, solution de C^2Fe^6 dans Fe;

3° La troostite, solution de C^3Fe^9 dans Fe;

4° La perlite (mélange mécanique), solution de C^4Fe^{12} et Fe.

Il termine en exprimant l'espoir que la science du fer, à peine née d'hier, la *Sidérologie*, est en voie de rapides progrès, et il laisse entrevoir qu'il nous fera connaître le résultat de ses nouvelles recherches au prochain Congrès.

Essai des métaux par pliage de barrettes entaillées,

par M. Ch. Fremont.

Cette Communication a été résumée par M. Édouard Sauvage.

L'auteur commence par rappeler que la fragilité au choc a depuis longtemps préoccupé les consommateurs et remarque que les essais de traction, les moins propres à révéler la fragilité, ne se sont aussi développés en ces derniers temps que parce qu'ils donnaient des chiffres précis, que les essais au choc n'étaient pas encore en état de fournir. Il cite ensuite des incidents plus ou moins récents de ruptures inopinées, attribuables à la fragilité, qui ont occasionné, soit pour le fournisseur, soit pour le consommateur, des pertes d'argent considérables.

Il passe ensuite à l'examen des méthodes proposées pour la mesure de la fragilité et condamne :

1° Les méthodes ne permettant pas la mesure de la force vive restant dans l'appareil de choc après la rupture;

2° Les méthodes consistant à obtenir la rupture au moyen de plusieurs chocs d'intensité médiocre, attribuant une grande importance à la vitesse d'impact.

L'auteur décrit ensuite, en détail, l'appareil dont il se sert et dont il préconise l'emploi, basé :

1° Sur des dimensions uniformes et très réduites d'éprouvettes : $8 \times 10 \times 30$ *mm*;

2° Sur une forme d'entaille, arrondie au fond, de 1 *mm* de profondeur, obtenue à la scie;

3° Sur la mesure, par l'aplatissement de ressorts à boudins, de la force vive disponible après rupture en un seul choc.

Il donne ensuite des exemples pratiques à l'appui de ses convictions et également pour réfuter les critiques qui se sont élevées contre ses procédés opératoires.

Enfin, il termine sa Note par les conditions de réception auxquelles doivent satisfaire les aciers éprouvés d'après ses procédés, pour que l'on soit assuré de l'absence de fragilité.

Il recommande en même temps de profiter des extrémités de la barrette de pliage par choc, pour faire un essai de cisaillement renseignant sur la résistance à la traction ordinaire. D'après les chiffres indiqués, la résistance à la traction et celle au cisaillement seraient rigoureusement proportionnelles. L'auteur ajoute qu'en cas de contestation, on aurait toujours la ressource de faire l'essai habituel de traction.

Essais de fragilité au choc,

par M. H. Le Chatelier,
Ingénieur en chef des Mines, Professeur au Collège de France, Membre du Comité directeur, Paris.

L'esprit dans lequel cette communication est conçue, est de faire ressortir l'importance de la recherche de la fragilité.

L'auteur commence par rappeler que la notion de cette propriété spéciale de la matière a été formulée récemment, pour la première fois, par M. André Le Chatelier. Il indique ensuite que tous les Ingénieurs qui ont effectué des essais au choc sur entaille, sont unanimes pour déclarer qu'il n'y a aucun rapport entre les résultats de cet essai et ceux de l'essai habituel de traction.

Les conditions à remplir actuellement pour avoir un métal non fragile sont bien définies. Elles se résument à deux principales : composition chimique, traitement thermique.

Il ne reste donc plus à déterminer que :

1° Les moyens économiques à employer par les producteurs;

2° La réglementation des essais.

Entre temps, l'auteur examine brièvement les conséquences de l'introduction d'un essai de fragilité dans les réceptions et qui seront :

La disparition du fer soudé;

L'emploi de métaux à plus haute limite élastique;
Réduction de coefficients de sécurité;
Simplification des conditions des cahiers des charges, avec une période de transition, pendant laquelle les prix de vente devront être forcément majorés.

M. Le Chatelier explique ensuite que la critique de discordance entre les chiffres obtenus à l'essai au choc sur entaille dans une même pièce, ne lui paraît pas fondée. En effet, il faut rapprocher les écarts de la variation totale.

Dans les métaux usuels, la ténacité varie de 30 à 90 *kg* et l'allongement de 10 à 30 0/0; mais dans un même métal, suivant le traitement thermique, l'essai au choc sur entaille donne des variations de travail de 1 à 20. Il n'est donc pas logique de rejeter une méthode qui donnerait des variations de ± 10 à ± 20 0/0, écarts considérables pour un essai de traction, mais insignifiants vis-à-vis de puissances kilogrammétriques variant de 1 à 20.

En examinant ensuite les différentes formes d'entailles et différents modes de rupture proposés, M. Le Chatelier en conclut que l'unification de l'essai de fragilité sera rendue difficile, non par le manque de procédés convenables, mais par leur trop grande multiplicité. Il espère cependant qu'on arrivera rapidement à un choix raisonné.

L'auteur termine son rapport par la recherche, au point de vue théorique, des causes de la fragilité, et conclut, en s'inspirant de l'examen des textures, que la non-fragilité — texture nerveuse — tient à ce que la cassure est « intracellulaire », tandis que dans la fragilité — texture grenue — elle est « intercellulaire ».

Les aciers livrés à la consommation sont généralement dans un état moléculaire-limite, qui fait que la moindre cause incidente les rend tout à fait fragiles ou non.

Note sur l'essai des métaux à la flexion par choc de barreaux entaillés,

par M. G. Charpy,
Ingénieur principal des Usines Saint-Jacques, Montluçon (Allier).

Cette Note a été développée devant le Congrès par M. Sauvage.
La Note de M. Charpy n'est que la reproduction de la Note parue dans le *Bulletin des Ingénieurs Civils*, à la date de juin 1901.

Dans ces conditions, je demanderai la permission de ne dire que quelques mots, pour la résumer très brièvement.

L'auteur fait d'abord l'historique des appareils d'essais proposés actuellement; il indique ensuite les raisons qui l'ont conduit à prendre des barrettes de fortes sections, avec entaille profonde arrondie, décrit l'appareil-pendule, remarquable au point de vue de la précision, dont il se sert, et donne des résultats d'essais montrant que les essais au choc qu'il préconise, différencient des métaux donnant à la traction, et même à la compression, des chiffres semblables. Il admet que les différences entre les barreaux entaillés se produisent aussi bien sous des efforts statiques que sous des efforts dynamiques.

Enfin, en considérant une grandeur qu'il appelle « résilience », et qui serait la résistance vive à la rupture d'une tranche mince, il justifie l'emploi du barreau entaillé.

Les conclusions donnent :

1° Les dimensions des éprouvettes à employer;

2° La forme et la profondeur de l'entaille;

3° La puissance kilogrammétrique appliquée en plusieurs coups, à laquelle le barreau devra résister sans rupture;

4° L'angle auquel le barreau devra être plié sans rupture.

Communication sur les Essais au choc sur entaille,

par M. E. Le Blant.

Je comptais prendre la parole au Congrès, pour donner quelques détails sur les essais que M. Barba a publiés dans le *Bulletin* d'avril 1901 de la Société des Ingénieurs Civils; mais comme les rapports précédents avaient déjà dit à peu près tout ce qu'il y avait à dire, je me suis borné à indiquer en quelques mots pourquoi j'étais partisan de l'entaille aiguë.

Les pièces de matériel de chemins de fer, et en particulier les essieux coudés et les longerons, se rompent en service par propagation de fentes, dont l'examen attentif des Dépôts permet de suivre la progression à mesure que le parcours augmente. Il est donc naturel, pour rechercher un essai qui indique avant emploi si le métal se fissurera ou non, de créer une fente artificielle — entaille aiguë — bien définie, et de voir par un essai au choc si cette fente se propage.

J'ai rappelé un moyen bien connu et employé avec succès par

les ateliers, au moins dans les pièces minces, pour empêcher la propagation des fentes. Il consiste à forer, puis à aléser soigneusement un trou à l'extrémité de la crique, qui est ainsi arrêtée.

Cela semble exclure, pour la recherche qui m'intéresse, une entaille à fond arrondi.

J'ai ensuite présenté à l'appréciation du Congrès, quelques éprouvettes entaillées d'avance, que l'on a rompues séance tenante, au marteau à main, montrant la propagation de la fente dans le métal à grains, et sa non-propagation dans le même métal transformé à nerfs par une trempe suivie de recuit.

Enfin, j'ai soumis quelques textures de différentes nuances d'acier à nerfs, à grains, et mixtes, et des spécimens de couteaux finisseurs à angles vifs, vierges d'affûtage et usagés, pour que l'on se rendît compte de la valeur des critiques sur la conservation de l'acuité de l'angle du couteau finisseur après usage.

Communication

de M. Grobot, *Directeur de l'Usine d'Assailly* (Aciéries de la Marine, Saint-Chamond).

M. Le Chatelier donne lecture d'une lettre de M. Grobot, protestant contre l'emploi de l'entaille aiguë, qui donne des résultats très variables suivant l'acuité de l'angle, et se ralliant à l'entaille à fond arrondi de M. Charpy.

Communication

de M. Auscher, *Ingénieur de la Marine.*

M. Auscher vient rappeler que depuis plus de cinq ans les essais au choc sur entaille aiguë sont imposés comme condition de réception pour certaines pièces de machines-marines et que ces essais ont été remplis couramment en réception, même par les usines qui protestent actuellement contre leur emploi.

Rôle des essais dans le Contrôle du Matériel roulant de chemin de fer,

par M. Eug. Vanderheym, *Ingénieur, Chef du Service du Contrôle des Travaux extérieurs du Matériel et de la Traction de la Compagnie P.-L.-M.*

M. Vanderheym commence par faire remarquer que si le rôle des Ingénieurs de Chemins de fer est moins brillant au point de

vue scientifique que celui des purs savants, il n'en a pas moins une importance considérable puisque les fonctions mêmes de ces ingénieurs leur permettent de suivre en service les métaux sous forme de pièces. On peut ainsi rattacher les incidents de service aux résultats d'essais et aussi aux procédés de fabrication.

D'après l'auteur, il est désirable de fixer, en dehors des essais de réception, des conditions de fabrication qu'il compare respectivement au certificat d'origine et au signalement.

L'auteur donne un ensemble de tableaux résumant les résultats d'expériences diverses, qui montrent que les essais de traction ne suffisent pas à caractériser les propriétés physiques d'un métal, mais qu'il faut aussi leur adjoindre des essais au choc. A ce propos, il rappelle la méthode d'essais au choc sur entaille employée depuis 1895 par la Compagnie P.-L.-M. L'entaille est vive, obtenue au tour avec un outil en acier extra-dur, dont l'acuité ne s'émousse pas à l'usage.

La barrette est encastrée et rompue en porte-à-faux. On détermine la hauteur de rupture par encadrement des coups rompus et non rompus.

M. Vanderheym termine sa communication par l'exposé des raisons qui ont conduit la Compagnie P.-L.-M. à imposer des procédés d'élaboration, de forgeage, de recuit, à proscrire la trempe de certaines pièces trop douces, etc.

Observations sur l'emploi des Méthodes d'essai par choc pour la détermination de la fragilité des matériaux,

par M. F. Huillier, *Ingénieur principal du Matériel de la Compagnie de l'Ouest français.*

L'auteur reconnaît, en premier lieu, que l'essai de traction ordinaire ne renseigne en rien sur la fragilité (ruptures inopinées en service). Il détermine ensuite à quelles conditions doit répondre une méthode d'essai destinée à la recherche de la fragilité; ce sont: la facilité de prendre de nombreuses prises d'essais, et la faculté de définir la fragilité par des chiffres et non par des appréciations susceptibles d'arbitraire, comme des examens de textures. Il conclut à la supériorité de l'épreuve au choc déterminant la rupture en un seul coup, la méthode par coups successifs donnant lieu au double inconvient:

1° de permettre des contestations sur le moment où a commencé la rupture ;

2° De ne pas déceler à coup sûr la fragilité, puisque celle-ci n'apparaît qu'à partir d'une certaine vitesse d'impact.

L'auteur donne ensuite des résultats d'essais obtenus par la méthode Fremont, pour les aciers au-dessous de 50 *kg* de « R » à la traction, et sans entaille pour les aciers au-dessus de cette résistance.

Ces essais ont porté :

1° Sur des pièces reconnues bonnes en service;

2° Sur des pièces reconnues défectueuses en service.

Enfin, l'auteur pose la question : Que doit-on demander numériquement dans la méthode choisie pour la réception des pièces à essayer?

M. Huillier tire des chiffres de ses tableaux les conclusions suivantes :

Les pièces reconnues bonnes en service ont demandé des puissances kilogrammétriques élevées pour rompre, avec des écarts avoisinant 20 0/0 entre éprouvettes de la même pièce;

Les pièces reconnues défectueuses en service ont demandé des puissances kilogrammétriques faibles, avec écarts comparables aux précédents, ou ont donné des écarts énormes de plus de 100 0/0, et même, dans un cas, de 500 0/0.

Quant aux chiffres de réception, l'auteur déclare qu'il faut encore multiplier les essais avant de les fixer.

Sa conclusion est que la fragilité correspond à une certaine discontinuité dans la valeur du travail nécessaire à la rupture d'éprouvettes voisines, d'où nécessité d'un grand nombre d'éprouvettes et importance capitale à attacher à la continuité des valeurs des efforts à exiger pour la rupture.

Pour les aciers de « R » au-dessus de 50 *kg*, l'auteur ne préconise pas l'emploi de l'entaille, qui donne des chiffres trop faibles, et trouve, sans entailles, des résultats conformes à ceux obtenus avec entaille dans les métaux à moins de 50 *kg* de résistance.

Communication sur les essais de M. Brinell : Empreintes de billes. — Essais au choc. — Influence de la composition chimique sur les soufflures et la formation des retassures,

par M. Wahlberg.

Les essais par empreintes de billes et la recherche sur les formations de soufflures et retassures ont déjà été publiés au Congrès de 1900.

Je dirai quelques mots sur les essais au choc sur barreaux entaillés.

Les barrettes sont rompues à porte-à-faux, avec entailles à la scie, en dessus et en dessous, de 1 *mm* de large et 6 *mm* de profondeur. On compte le nombre de coups de mouton nécessaires pour obtenir la rupture, en augmentant les hauteurs de chute à chaque coup.

On a également fait des essais pour comparer la fragilité à + 30° et à — 28°.

Comme conclusion, l'auteur déclare que le fer fondu le plus doux peut être aussi fragile que l'acier le plus dur.

A la suite de la communication, M. Mesnager a demandé la parole pour dire qu'il avait expérimenté la méthode d'impression par billes et qu'il avait trouvé une concordance remarquable entre les essais sur éprouvettes courantes de son laboratoire et le tableau de M. Brinell.

J'ai eu aussi l'honneur d'ajouter quelques mots résumant les essais comparatifs faits à la Compagnie de l'Est et concluant à une concordance suffisante pour la réception des aciers recuits, au point de vue de la résistance entre les chiffres donnés par le tableau de M. Brinell et les résultats trouvés sur barrettes de traction expérimentées à la machine Thomasset.

Communication

de M. Guillery, *Ingénieur en chef de l'Usine de la Société Française de Constructions Mécaniques*, à Denain.

L'auteur attire l'attention du Congrès sur une méthode de recherche de la fragilité des tôles d'acier, consistant à plier sur trous poinçonnés.

Quel que soit l'état moléculaire de la tôle, même extra-douce, on peut, en faisant le pliage de façon convenable (la sortie du poinçon travaillant à l'extension), différencier les tôles par l'angle de pliage sous lequel se produit la première crique au bord du trou poinçonné.

Des éprouvettes, présentées à l'appui de cette méthode, permettaient, par leurs angles de pliage, de distinguer la fabrication au convertisseur de la fabrication sur sole.

Proposition

de M. Édouard Sauvage.

A la suite des communications précédentes, M. Sauvage a proposé au Congrès la motion suivante :

« Le Congrès émet le vœu, qu'à côté des essais généralement
» admis aujourd'hui pour la réception des métaux, et à titre
» d'études, on fasse usage autant que possible des essais : par choc
» sur barreaux entaillés, par cisaillage, par empreinte de billes,
» afin d'étudier la correspondance des diverses méthodes d'essai
» et de préciser les données numériques applicables aux diverses
» qualités de métaux. »

Ce vœu a été adopté à l'unanimité, en séance plénière du Congrès.

Métallographie et Mécanique,

par MM. F. Osmond et G. Cartaud.

Les auteurs débutent en rappelant qu'à l'ancien partage de la matière en trois états : solide, liquide et gazeux, on tend actuellement à substituer une classification nouvelle en corps cristallisés et corps amorphes. Ils admettent que les corps prennent sous l'action des forces moléculaires et, éventuellement, de la pesanteur, deux structures spontanées ou congénitales : amorphe et à grains cristallins, et se proposent d'étudier dans la Note, les modes de structure imposés aux métaux par la combinaison des modes de structure spontanés et des structures résultant de l'action des forces extérieures.

La Note examine successivement l'action des forces extérieures :

1° Sur les liquides ;

2° Pendant le passage de l'état liquide à l'état solide ;
3° Sur les corps solides amorphes ;
4° Sur les corps solides cristallisés.

La structure naturelle des liquides est cellulaire comme celle des corps amorphes. L'action de la chaleur et de la pesanteur combinées détermine une structure cellulaire. L'action de vibrations détermine des systèmes d'ondes accompagnés de mouvements tourbillonnaires.

Pour étudier le passage de l'état liquide à l'état solide, les auteurs emploient une méthode consistant à laisser tomber le métal goutte à goutte sur une glace horizontale, ou à le couler sur une glace inclinée. Dans ces conditions, la surface inférieure, au contact du verre, en prend le poli ; mais la surface libre enregistre :

1° La structure du liquide ;
2° Les mouvements du liquide au moment de la solidification ;
3° La structure cristalline du solide.

Sauf pour le bismuth, on obtient toujours un réseau cellulaire caractéristique de l'état liquide, avec des tourbillons. Mais quand le solide doit avoir une structure cristalline normale, les deux structures se combinent et donnent lieu à des combinaisons curieuses.

Dans les corps solides amorphes, l'action de la chaleur détermine une structure cellulaire ; la dilatation et la contraction déterminent une structure cellulaire plus ou moins complète. Enfin, l'action des forces extérieures est plus compliquée. Les auteurs citent les travaux de divers savants, en particulier, de MM. Rejöt et du commandant Hartmann ; ils admettent qu'il se forme deux systèmes de surfaces de déformation et éventuellement de rupture : les unes parallèles ou perpendiculaires à la direction de l'effort, les autres obliques, et assimilent la structure déterminée par les efforts, aux structures congénitales.

Dans les corps solides cristallisés, la question devient encore plus complexe. La solution complète du problème consisterait à trouver, dans chaque cas particulier, comment les diverses structures congénitales et déterminées se combinent entre elles, mais les auteurs déclarent ne pas avoir la prétention d'apporter cette solution.

Après avoir examiné la structure déterminée par dilatation ou

contraction et celle déterminée par l'application de forces extérieures, les auteurs concluent que les lignes de déformation ont plusieurs origines, les unes appartenant à la structure cristalline, les autres ne dépendant que de la distribution des efforts. La rupture est particulièrement facile là où les lignes des deux ordres tendent à suivre la même direction.

A la suite de ces communications, M. le commandant Hartmann a pris la parole sur une question de priorité d'études et d'interprétation de la méthode pour le rapport de M. Mesnager et sur le manque de généralité du rapport de MM. Osmond et Cartaud.

M. Mesnager a répondu en maintenant l'interprétation de sa méthode et en citant des travaux analogues antérieurs à ceux de M. le commandant Hartmann.

M. Cartaud dit qu'il n'avait jamais eu la prétention d'apporter une étude complète.

Rapports du Laboratoire de l'Institut royal de Charlottenburg,

par M. E. Heyn, *Professeur.*

L'auteur étudie, en premier, l'action de l'hydrogène sur le fer et conclut que :

1° Si l'on chauffe de l'acier au contact de l'hydrogène jusqu'à une température comprise entre 730° et 1 000° et qu'on le trempe dans l'eau immédiatement après, le métal devient sensiblement plus fragile que lorsque le chauffage avant la trempe a eu lieu à l'air libre;

2° Le refroidissement lent dans l'hydrogène, de même que la trempe, si le chauffage n'a été poussé qu'en dessous de 730° C., n'ont pas d'action qui puisse être constatée à l'essai de flexion;

3° L'action de l'hydrogène s'exerce d'abord à la surface, puis pénètre graduellement à l'intérieur de l'éprouvette;

4° L'action de l'hydrogène peut être annulée ou atténuée par le chauffage à l'air ou dans l'azote;

5° La fragilité disparait ou est atténuée, si on expose longtemps à l'air des éprouvettes trempées après avoir été chauffées au contact de l'hydrogène;

6° On n'a pas constaté la moindre différence de structure entre les éprouvettes trempées après chauffage dans H ou dans l'air, ni dans leurs poids spécifiques respectifs.

Cette fragilité spéciale a été constatée par pliages simples ou répétés, suivant les cas.

L'hydrogène a une influence encore plus destructive sur le cuivre que sur le fer : le cuivre devient extrêmement cassant, le poids spécifique diminue, des fissures superficielles se produisent spontanément ; enfin, la microstructure change.

L'oxygène n'a été étudié dans son action sur le cuivre qu'en l'absence de possibilité de formation d'arséniates ou d'antimoniates.

L'oxygène ne peut exister dans la masse cuivreuse qu'à l'état de Cu^2O (oxydule), et la solidification du mélange amène la séparation de l'oxydule.

Dans l'étude des températures de solidification, l'auteur conclut que les alliages se comportent, pendant la solidification, de façon que la partie qui reste liquide se rapproche de la composition de l'alliage eutectique de 3,4 à 3,5 0/0 de Cu^2O.

D'après Hampe, la diminution de ténacité du cuivre ne devient apparente qu'au delà de 2,25 0/0 d'oxydule; mais l'auteur fait remarquer qu'il importe surtout de savoir comment l'oxydule est réparti dans la masse, car ce n'est pas la composition chimique moyenne qui amènera la rupture, mais les points particuliers où l'oxydule est concentré et crée des points faibles.

L'auteur termine en citant des exemples d'examens micrographiques, d'où il conclut que, tout en rendant de grands services, l'examen micrographique ne permet pas de tirer des conclusions directes, quant à la résistance des matériaux. Il cite le cas de la fragilité après chauffage dans H et de la fragilité au bleu, qui ne sont accompagnées d'aucune transformation du grain visible au microscope.

Recherches sur la façon dont se comporte le fer forgé exposé aux températures extrêmement basses,

par M. Rudeloff, *Professeur*, *Vice-Directeur*,
Chef de section au Laboratoire royal d'essais des matériaux
(Charlottenburg), *Président de la Commission 3.*

M. Rudeloff expose que les essais actuellement effectués étant contradictoires, la Commission 3 va continuer à travailler la question, en précisant son programme, de façon à espérer d'arriver à des résultats explicables.

Flambage et Compression composée,

par M. L. von Tetmajer, *Professeur*,
Directeur du Laboratoire fédéral d'essais des matériaux, à Zurich.

Cette communication étudie le flambage et la compression composée des fers et bois, en comparant les résultats expérimentaux avec les formules généralement admises.

Elle conclut tantôt à l'application, tantôt à la modification de ces formules.

Des détails plus complets sortiraient du cadre de cette Note et je me contenterai de donner l'adresse de l'imprimeur : Aschmann et Scheller, à Zurich, pour ceux de nos Collègues qui désirent examiner de près le remarquable travail du Président de l'Association.

Rapport de la Commission de surveillance du Laboratoire sidérurgique international,

par M. H. Wedding,
Docteur, Professeur, Conseiller intime, Président de la Commission.

La création de ce laboratoire, en Suisse, a été approuvée par le Congrès de Stockholm. Elle a été retardée par suite du manque d'argent. Mais, d'après les sommes actuellement promises ou recueillies, le laboratoire ne tardera pas à fonctionner d'une façon restreinte, dans l'espoir que les services qu'il rendra lui permettront de se développer.

Note sur la constitution chimique des fontes et des aciers,

par M. Adolphe Carnot, *Inspecteur général, Directeur de l'École des Mines, membre de l'Institut, Paris.*

Ce mémoire a déjà paru dans les annales des Mines (octobre 1900) et n'a pas été l'objet de communication orale détaillée au Congrès.

Je demanderai donc la permission, comme pour celui de M. Tetmajer, de ne pas donner de détails sur les remarquables travaux qu'il contient.

Établissement de méthodes d'essai pour la détermination de l'homogénéité du fer et de l'acier,

par M. W. Ast, *Conseiller impérial et royal, directeur de la Compagnie de chemins de fer du Nord « Empereur Ferdinand », Vienne, Président de la Commission 2,* et M. J. Barba, *ancien Ingénieur de la Marine, ancien Ingénieur en chef des usines du Creusot; Paris, Vice-Président de la Commission 2.*

En dehors des notes déjà énumérées de MM. Brinell et Barba, ce Rapport contient une note de M. Ast.

L'auteur commence par indiquer, dans des tableaux, les ruptures de rails, d'essieux et de bandages qui se sont produites pendant l'exercice 1898, sur les réseaux d'Autriche-Hongrie.

Au moyen d'attaques par les acides, on détermine la structure intérieure de ces pièces, qui se compose d'une enveloppe pure et d'un noyau impur, dans les rails et poutrelles.

L'auteur cite ensuite en détail un certain nombre de ruptures en service, principalement de rails et d'essieux, et conclut à une très grande hétérogénéité de la matière.

Puis il étudie les procédés d'attaque par solutions variées et conclut à leur développement désirable, à condition de tenir compte de la composition chimique des impuretés.

Enfin, l'auteur décrit un appareil de choc pour barreaux entaillés, permettant :

1° La rupture à la flexion sur appuis ;

2° La rupture à la traction par choc ;

3° La rupture à la torsion par choc.

Dans tous les cas, la force vive restante est mesurée par la compression de ressorts, suivant le dispositif imaginé par M. Fremont.

Il conclut au développement de ces méthodes d'essai et ajoute quelques mots pour dire que, s'il est d'accord dans les grandes lignes comme résultats de recherche de la ténacité par la méthode de Korobkoff, il a cependant observé des cas où cette méthode indiquait comme bons des métaux fragiles en service.

Le rapport général se termine par une note de M. Hannover sur les essais de torsion, qui ne donne de chiffres que pour un seul essai.

Règles en vue de l'unification des essais des matériaux,

dressées par L'ASSOCIATION ALLEMANDE.

Ce Rapport, présenté par M. Martens, débute par rappeler que l'Association ne veut pas émettre de prescriptions, mais simplement établir les méthodes d'après lesquelles, dans l'état actuel, on peut le mieux effectuer les essais de matériaux.

En prenant ensuite les essais un à un : traction, compression, choc, essais à chaud, etc., l'Association allemande donne, dans chaque cas, des règles inspirées par les travaux déjà parus chez les différentes nations. Ces règles, d'un caractère général, ne contiennent rien de nouveau en ce qui concerne les modes d'essais usités en France, et que les usines appliquent pour ainsi dire d'instinct.

Il me reste maintenant, Monsieur le Président et Messieurs, à vous remercier de la bienveillante attention que vous avez bien voulu me témoigner pendant l'exposé un peu long et souvent aride, que je viens d'avoir l'honneur de faire devant vous.

II

SECTION DES CIMENTS

PAR

M. E. CANDLOT

Monsieur le Président,
Messieurs,

La communication que vous venez d'entendre vous a fait voir que les rapports présentés au Congrès de Budapest sur la question des métaux avaient été très nombreux et ont présenté un intérêt considérable.

Sur les matériaux autres que les métaux, il a été communiqué une vingtaine de rapports dont la moitié environ, surtout sur le ciment, ont été présentés par des Français. Je vous en donnerai un résumé aussi fidèle que possible, tout en regrettant de ne pas pouvoir entrer dans des détails qui prendraient trop de temps.

Une des questions les plus importantes qui aient été traitées dans ces communications est celle de la décomposition des ciments à la mer.

Je parlerai tout d'abord de l'étude de M. Le Chatelier sur ce sujet :

En voici les points les plus saillants :

Depuis les travaux de Vicat, on n'avait pour ainsi dire pas fait de progrès sur les causes de la décomposition des ciments et des mortiers à la mer. C'est M. Le Chatelier qui, le premier, a jeté sur cette question un jour nouveau et a permis de reconnaître quelle était la véritable cause de cette décomposition. Il a montré notamment que les composés alumineux étaient ceux qui, au point de vue chimique, étaient le plus sujets à se désagréger dans l'eau de mer ; cette désagrégation provient de l'action du sulfate de chaux sur l'aluminate de chaux des mortiers.

Le sulfate de chaux est produit par la décomposition du sulfate de magnésie contenu dans l'eau de mer ; il se forme ainsi un sulfo-aluminate de chaux qui gonfle considérablement et amène la désagrégation des mortiers.

M. Le Chatelier a institué une série d'expériences qui lui ont permis de reconnaître que ces gonflements étaient de plus en plus importants à mesure que la quantité d'alumine était plus grande dans les ciments et les chaux expérimentés.

Ainsi, avec des ciments ne contenant que 1 à 2 0/0 d'alumine, le gonflement observé est très faible, quelquefois même tout à fait nul, tandis que, dans des ciments contenant de 7 à 8 0/0 d'alumine ou davantage, le gonflement est considérable et la destruction du mortier est obtenue très rapidement.

M. Le Chatelier a été amené à examiner et à rechercher, si en remplaçant dans le ciment l'alumine par un autre composé ne donnant pas lieu à une combinaison avec le sulfate de chaux, on ne pourrait pas obtenir de ciment qui serait chimiquement indécomposable par l'eau de mer. Il a composé ainsi des mélanges dans lesquels l'alumine était remplacée par de l'oxyde de fer, du cobalt, du chrome et du manganèse. Ces mélanges portés à une température suffisante pour amener un commencement de fusion de la masse ont été traités ensuite comme un ciment, c'est-à-dire réduits en poudre fine et gâchés avec de l'eau, de manière à former des pâtes qui ont été mises à durcir dans les conditions ordinaires.

La stabilité de ces composés, en présence du sulfate de chaux a été reconnue bien supérieure à celle des produits dans lesquels il existe de l'alumine, notamment le mélange dans lequel l'alumine a été remplacée par le fer et qui correspond à la formule $5SiO^2$, FE^2O^3, $17CaO$ donne des résultats tout à fait satisfaisants aussi bien au point de vue de la tenue en présence des solutions salées que de la résistance à la traction et à la compression.

M. Le Chatelier a fait observer également que le ciment, contenant de l'alumine mais ayant une faible teneur en chaux, était décomposé moins rapidement que le ciment à teneur en alumine égale, mais contenant plus de chaux. Il a fait voir que l'addition au ciment de substances pouzzolaniques siliceuses atténue, dans une proportion très importante, le pouvoir décomposant de l'eau de mer. Toutefois, M. Le Chatelier a tenu à faire remarquer que ses recherches avaient eu pour but de mettre en lumière la décomposition des mortiers au point de vue chimique et que les résultats trouvés ne pouvaient être interprétés comme donnant des indications absolues. Il est certain, par exemple, qu'avec des mortiers qui, au point de vue chimique proprement

dit, doivent donner des résultats plutôt mauvais, on obtient en pratique des mortiers plus résistants qu'avec d'autres produits hydrauliques dont la composition chimique est plus favorable.

Il faut tenir compte, en effet, non seulement de la composition chimique, mais aussi de la résistance mécanique, que le mortier peut opposer aux influences extérieures, par exemple, en ce qui concerne les travaux à la mer, au choc des vagues.

De plus, une question également très importante est celle de la compacité des mortiers. Il est certain que plus un mortier sera compact et imperméable, et plus il aura de chance d'être décomposé très lentement ou même de résister presque indéfiniment aux attaques de l'eau de mer; c'est ce qui explique que des ciments, qui, s'ils étaient mis en contact continuel avec l'eau de mer, seraient décomposés par la formation du sulfo-aluminate, se conservent depuis plus de quarante à cinquante années sans présenter de traces apparentes de désagrégation.

Sur le même sujet, M. Ménard, conducteur des Ponts et Chaussées à La Rochelle, a présenté une communication très importante; malheureusement, le rapport qu'il avait déposé au Congrès était trop volumineux pour que tous les membres aient pu en prendre connaissance; il n'a pu en exposer, dans une conférence faite à la Section « B », que quelques points essentiels. Les observations faites par M. Ménard présentent un intérêt tout particulier, car elles portent sur un très grand nombre d'échantillons immergés dans l'eau de mer au port de La Rochelle depuis plus de quarante ans.

M. Ménard estime que les ciments, chaux et produits hydrauliques doivent être tous décomposés par l'action de l'eau de mer. D'après lui, la chaux contenue dans les mortiers est enlevée peu à peu par une sorte de phénomène d'exosmose, les mortiers s'appauvrissent ainsi constamment, et il arrive un moment où ils ne présentent plus aucune résistance.

Contrairement aux opinions généralement admises, M. Ménard ne pense pas que la décomposition soit due à l'introduction, dans les mortiers, de l'eau de mer, et, par conséquent, à la formation de sels qui, dans l'intérieur des mortiers, cristallisent et amènent des gonflements. Cette pénétration de l'eau de mer dans les mortiers ne se produirait qu'au bout d'un temps extrêmement long, lorsqu'une grande partie de la chaux aurait déjà disparu, en rendant les mortiers ainsi extrêmement poreux.

Voici d'ailleurs les conclusions de M. Ménard :

Tous les agglomérants connus sans exception subissent la décomposition chimique complète d'abord par dissolution et élimination de la chaux sous l'action de l'eau et ensuite par l'action de l'eau et des sels de magnésie sur le dernier équivalent de chaux combiné à la silice et à l'alumine. Cette dissociation par l'eau et les sels de la mer est inévitable et forcée, parce que la chaleur de formation de l'hydrate de chaux et sa chaleur de dissolution (9 cal. 05) sont, réunies, bien supérieures à la chaleur de formation du silicate et de l'aluminate monobasiques de chaux qui semblent voisins de six calories.

D'après les recherches faites par M. Le Chatelier, ces réactions sont exotermiques et sont encore facilitées par celles du chlorure de magnésium et du sulfate de magnésie sur la chaux.

Il est donc dès lors bien établi que tous les composés formés par la combinaison de chaux anhydre à l'alumine, à la silice, à l'oxyde de fer, aux oxydes de chrome, de manganèse, de zinc, etc., sont dissociables par l'eau ; dès lors, tout produit contenant des éléments semblables ne pourra pas résister chimiquement à l'eau de mer, mais pourra, si la proportion de chaux est faible, subir la décomposition chimique totale sans éprouver une variation notable de volume apparent. Cela posé, la constitution de produits susceptibles de ne pas désagréger les maçonneries peut se réaliser de trois manières différentes :

1° Par l'union de corps préalablement hydratés résistant chimiquement à l'eau de mer, comme, par exemple, silice et chaux hydratées, silice et magnésie hydratées ;

2° Par l'union de corps anhydres sous l'influence de la chaleur avec une faible quantité de chaux, ou avec de la magnésie ;

3° Enfin, on peut arriver au même résultat en unissant des corps anhydres avec de la chaux, de la magnésie, ou de la silice hydratée.

Ces conclusions font voir que la théorie de M. Ménard renverse, en somme, toutes les idées reçues jusqu'à présent sur la théorie des mortiers. Si ces idées devaient être prises en considération, il faudrait renoncer à tous les produits actuellement connus et se lancer dans la fabrication de produits nouveaux fabriqués d'une façon toute différente. On voit de suite que la question deviendrait extrêmement difficile à résoudre, et devrait donner lieu, pendant de très longues années, à des recherches qui pourraient peut-être conduire à bien des déceptions.

Si nous avons insisté sur cette communication, bien qu'elle ait passé en quelque sorte inaperçue au Congrès de Budapest, c'est à raison de l'importance des travaux qui, depuis de très longues années, ont été entrepris à La Rochelle sur la question des mortiers à la mer et qui ont été suivis notamment par MM. Coustolle et Viennot, Ingénieurs des Ponts et Chaussées.

Nous devons observer en passant que nous avons trouvé dans le mémoire de M. Ménard des erreurs manifestes aussi bien dans les analyses citées, que dans des expériences mêmes. Pour ne citer qu'un exemple, M. Ménard attribue le retard que l'on observe dans la prise des mortiers gâchés à l'eau de mer à l'action seule du chlorure de sodium : or, il est absolument certain que ce sel n'a aucune influence sur la prise, tandis que le chlorure de calcium et le sulfate de chaux agissent au contraire énergiquement sur la rapidité de la prise.

Les notes présentées par M. Deval sur l'action du sulfate de chaux, sur le ciment et sur la composition du sulfo-aluminate de chaux, se rattachent à la question de décomposition des ciments à la mer et présentent aussi à cet égard un grand intérêt. M. Deval a recherché l'action du sulfate de chaux sur le ciment en suivant la méthode indiquée par M. Le Chatelier. Cette méthode consiste à prendre les ciments ayant acquis dans l'eau un certain degré de durcissement et complètement hydratés, puis, après avoir été desséchés, réduits en poudre et mélangés avec la moitié de leur poids de sulfate de chaux et une petite quantité d'eau, ils sont moulés par pression sous forme de barrettes maintenues dans un état constant d'humidité en les plaçant sur des feuilles de papier à filtrer dont les extrémités plongent dans l'eau ; on mesure ensuite l'allongement qui, n'ayant à vaincre que la résistance presque nulle de la pâte, commence à se produire au bout de très peu de temps.

L'allongement constaté sur ces barrettes a varié de 4 à 27 0/0, le premier correspondant à une chaux ne contenant que 4 0/0 d'alumine, le second correspondant à un ciment contenant 15 0/0 d'alumine. Les allongements varient donc avec la proportion d'alumine et peuvent être attribués à la formation du sulfo-aluminate de chaux. M. Deval a vérifié que le sulfate de chaux sature avec le temps tout l'aluminate tricalcique que peut fournir la totalité de l'alumine contenue dans le ciment.

Il a reconnu également que, lorsque toute l'alumine du ciment

est entrée dans la composition du sulfo-aluminate, l'action du sulfate de chaux ne paraît pas terminée.

Il continue à se fixer sur le ciment dans une proportion qui varie de 34 à 76 0/0 et contribue encore à l'augmentation de volume et à la désagrégation du mortier. La composition du sulfo-aluminate de chaux a fait l'objet de recherches assez nombreuses et, sur l'invitation de M. Le Chatelier, M. Deval a essayé de la déterminer assez exactement. Il a préparé ce sel, d'une part, avec le sulfate d'alumine et la chaux, d'autre part, avec un aluminate tricalcique et une solution de sulfate de chaux dans de l'eau de chaux.

Dans le premier cas, l'analyse du sel cristallisé a conduit à la formule $Al^2O^3 3CaO^3 3 (SO^3CaO)$. Dans le second cas, le résultat a été très sensiblement le même, et M. Deval a constaté que le sulfo-aluminate cristallise avec 28,5 équivalents d'eau. Les recherches très précises effectuées par M. Deval sur cette question permettent donc de considérer comme définitive la formule du sulfo-aluminate de chaux.

M. Leduc, chimiste à Boulogne-sur-Mer a présenté quatre notes. Dans la première, sur la dissociation des produits hydrauliques, il montre qu'un ciment que l'on maintient au rouge pendant très longtemps se dissocie ; le silicate tricalcique se dédouble en formant du silicate dicalcique, et une partie de la chaux est mise en liberté. Ce phénomène est particulièrement dangereux ; il donne, en effet, des produits expansifs par suite de l'hydratation de la chaux caustique rendue libre, il est d'ailleurs bien connu de tous les fabricants de ciment ; les ciments dont la cuisson est trop lente et qui sont restés pendant longtemps dans les fours sans se refroidir, se réduisent spontanément en poussière dès qu'ils sont atteints par l'air frais. Ce fait est précisément le résultat de la formation des silicates dicalciques qui ont la propriété, comme l'a montré M. Le Chatelier, de se réduire spontanément en poudre fine. Par contre, dans les fours qui, par leurs dispositions, permettent au ciment de se refroidir presque immédiatement après la période de cuisson, on observe toujours très peu de poussière provenant de la formation du silicate dicalcique.

Dans sa seconde note, M. Leduc donne quelques chiffres comparatifs entre les essais faits avec des mortiers secs et des mortiers plastiques, et il conclut à la supériorité des seconds sur les premiers.

Nous aurons occasion de revenir sur cette question à propos de la communication de M. Mercier.

Dans sa troisième note, M. Leduc examine l'influence du rapport de la proportion de résidu au tamis de 4 900 mailles à celle du résidu du tamis de 900 mailles, sur l'expansion des ciments. Il constate que le ciment est d'autant plus expansif que ce rapport est plus faible.

Enfin, M. Leduc a fait quelques recherches sur l'hydratation des grains qui existent dans tous les ciments en plus ou moins grande quantité ; ces grains ont échappé à l'action des appareils broyeurs. Les essais ont porté : 1° sur la fine poussière ayant traversé le tamis de soie ; 2° sur les grains retenus par le tamis de soie, mais ayant traversé le tamis de 4 900 mailles par centimètre carré ; 3° sur les grains retenus par ce dernier tamis, mais ayant traversé le tamis de 900 mailles ; 4° sur les grains retenus sur le tamis de 900 mailles, mais ayant passé à travers le tamis de 324 mailles, et enfin 5° sur des grains ayant environ un millimètre de diamètre.

Les essais faits par M. Leduc sur ces résidus ainsi classés ont consisté à doser la chaux mise en liberté par suite d'un séjour prolongé des échantillons avec l'eau ; la détermination de la chaux libre a été effectuée à l'aide d'une solution sucrée à 10 0/0.

M. Leduc a constaté ainsi que la partie du ciment appelée fine poussière était entièrement hydratée, tandis que même le résidu passant au tamis de 900 mailles et retenu par celui de 4 900 mailles ne joue en grande partie qu'un rôle inerte, tout au moins pour la période essayée. Nous pouvons rattacher au même ensemble de questions le rapport présenté par M. le Professeur Tetmayer, sur l'influence de quelques sels sur la prise et sur le durcissement du ciment portland. A la suite des résultats défavorables obtenus avec des mortiers de ciment portland employés dans des fondations de bâtiments dans des usines de soude en Égypte, M. Tetmayer a été conduit à examiner la question de savoir si ces mauvais résultats pouvaient être attribués à l'action de sels inorganiques contenus dans les eaux souterraines sur le phénomène de durcissement du ciment portland ou non. Il a organisé ainsi une série d'essais, qui l'ont amené aux conclusions suivantes : 1° en ce qui concerne la prise, les différentes marques de ciment se comportent d'une façon différente par rapport à l'influence du chlorure de sodium, du carbonate de soude et du sulfate de soude ; 2° cette influence qui augmente avec la

concentration des lessives accélère la prise; 3° les lessives ayant la concentration et la composition des eaux souterraines des usines de soude dans lesquelles les travaux avaient été exécutés n'altèrent pas notablement l'allure de la prise à des températures de 15° à 18°; 4° toutes les éprouvettes des séries d'essais ont atteint une dureté et une résistance normale.

En ce qui concerne la résistance des mortiers de ciment, l'eau dans laquelle le chlorure de sodium, le carbonate de soude ou le sulfate de soude se trouvent en quantité assez faible, n'a pas une influence nuisible sur la résistance d'un mortier de ciment; des solutions composées de carbonate de soude semblent exercer une influence favorable; par contre, le sulfate de soude a une influence très nuisible. Des quantités faibles de chlorure de sodium dans l'eau de gâchage n'exercent aucune influence, ni sur l'énergie initiale des mortiers de ciment, ni sur sa résistance après une année; même des solutions très concentrées n'amoindrissent que très faiblement la cohésion du mortier de ciment. M. Tetmayer ajoute à cette conclusion, que ce résultat accessoire des recherches devra faire abandonner la prévention qui existe parfois contre l'emploi du chlorure de sodium exempt de chlorure de magnésie, comme addition au ciment portland dans l'eau de gâchage, lors de sa mise en œuvre à basse température. Faisons remarquer en passant que les recherches de M. Tetmayer sur l'action du chlorure de sodium sont en parfaite concordance avec les nôtres et en complète opposition avec l'opinion de M. Ménard, que le chlorure de sodium a une influence sur la prise. Les recherches de M. Tetmayer ont porté également sur le ciment de laitier et sur la chaux hydraulique : il a constaté que de petites additions de sulfate de soude augmentent la résistance de ces produits, surtout en ce qui concerne la chaux.

Dans le même ordre d'idées, M. Gajo, Ingénieur italien, a présenté une note sur la corrosion des maçonneries en briques due à la présence des sulfates alcalins. Cet Ingéniuur a eu l'occasion d'observer des décompositions qui s'étaient produites dans des maçonneries de briques; amené à rechercher quelles étaient les causes de ces décompositions, il a analysé les briques et a pu constater ainsi qu'elles contenaient une assez grande quantité de sulfate de soude. La présence de ces sels provenait du combustible employé pour la cuisson des briques. Les expériences qu'il a entreprises pour rechercher l'influence du sulfate de

soude sur la décomposition des mortiers l'ont amené à constater que c'était bien à ce sel qu'il fallait attribuer les phénomènes observés, et cette étude montre qu'il faut se préoccuper de la manière dont les matériaux que l'on emploie ont été fabriqués.

Nous arrivons, maintenant, aux essais proprement dits des matériaux de construction, et nous parlerons tout d'abord du rapport de M. Gary sur l'état actuel des essais de ciment en Allemagne. Dans ce rapport, M. Gary passe en revue les divers règlements qui ont été élaborés depuis 1877, pour réglementer les livraisons et fournitures uniformes du ciment portland en Allemagne. Il décrit ensuite la manière d'opérer des divers essais tels qu'on les pratique actuellement, et fait la critique de quelques-uns de ces essais.

Sans pouvoir entrer dans tous les détails de cette communication qui est très étendue, nous arriverons tout de suite aux propositions que M. Gary a faites au Congrès pour modifier certains essais. En ce qui concerne le poids du litre tassé ou non, il propose l'adoption de l'appareil français, qui est composé d'un entonnoir muni d'un tamis à travers lequel passe le ciment, de manière à le faire tomber, avec une vitesse toujours égale, dans le litre servant de mesure et placé en-dessous de l'entonnoir. Pour la durée de prise, M. Gary estime que les moyens employés actuellement pour déterminer la durée de prise ne sont pas suffisamment parfaits, et il demande que l'association fasse entreprendre de nouveaux essais pour trouver une meilleure méthode. Même proposition en ce qui concerce les essais d'invariabilité de volume, ainsi que les essais concernant la finesse de mouture. M. Gary pense que l'emploi de tamis pour déterminer la finesse de mouture du ciment ne donne pas des résultats suffisants, que l'on ne peut pas déterminer ainsi la quantité de fine poussière contenue dans un ciment et qu'il serait préférable de recourir pour cela à des procédés de lavage et de ventilation.

Pour les essais de résistance, M. Gary demande que l'on cherche une nouvelle méthode de détermination de la consistance normale du ciment; il propose, en outre, de recourir, pour la confection des éprouvettes, au procédé de battage à l'aide du marteau de Bohme.

D'après lui, il faudrait renoncer à la fabrication d'éprouvettes de compression et de traction de poids spécifique identique, et

on doit accorder plus d'importance à l'essai de résistance à la compression.

Sable normal. — M. Gary propose de déterminer l'emploi d'un sable normal uniforme. Enfin, pour mieux différencier les ciments, M. Gary propose d'attacher au cours des essais la plus grande importance aux avantages économiques que ceux-ci présentent. A cet effet, il recommande l'exécution d'essais avec différentes proportions de sable, dans le but de déterminer la limite d'agglomération des ciments.

De cette façon, le ciment qui, avec la plus grande proportion de sable, aura acquis une certaine résistance, serait considéré comme le meilleur ciment.

Au cours de la communication de M. Gary, M. le docteur Schott a proposé une définition plus précise du ciment portland et a demandé au Congrès le vote de la conclusion suivante :

Le ciment portland est un produit défini obtenu par la calcination d'un mélange intime de matières calcaires avec des matières argileuses ou avec des silicates. Le mélange doit être calciné jusqu'au commencement de fusion. Des ciments fabriqués d'une autre manière ou des mélanges de matières quelconques avec du ciment portland ne doivent pas être vendus comme ciment portland. Cette proposition a donné lieu à des discussions assez vives, et finalement elle a été adoptée en séance plénière à la majorité des voix.

Quant aux propositions de M. Gary, elles ont été renvoyées à l'examen du Comité directeur et devront, par conséquent, donner lieu à de nouvelles recherches.

M. Biger a présenté un rapport sur l'essai des matériaux de construction par l'administration prussienne du bâtiment.

Ces essais ont porté principalement sur la résistance des agglomérants hydrauliques à l'influence de l'eau de mer sur la résistance des mortiers de ciment à l'influence des eaux ferrugineuses, des eaux vaseuses et du purin, sur l'établissement d'un procédé de détermination de résistance des pierres naturelles à l'influence des intempéries, sur la manière dont se comporte le fer dans la maçonnerie, sur la préparation et l'essai des mortiers de gypse, sur la transmission et l'action de la pression de l'eau à l'intérieur des maçonneries, sur l'enduit du fer, sur la résistance des bois de construction, sur l'influence de l'apparition d'une couleur bleue sur la résistance du bois de sapin, sur la texture mi-

croscopique des métaux, sur la rouille du fer, sur le changement des règles pour la livraison uniforme du ciment portland.

Nous donnerons rapidement quelques-unes des principales conclusions de ces différents essais.

Les recherches sur la décomposition des mortiers à la mer ont commencé en Allemagne depuis quelques années, et, en 1897, il a été rédigé un rapport sur la désagrégation attribuée à l'action de l'eau de mer et survenue dans les constructions exécutées dans la mer du Nord avec des mortiers de ciment; sur 102 constructions dont il est question dans ce rapport, 33 environ ont subi des désagrégations et, dans neuf cas, on a admis l'action chimique de l'eau de mer, ou, tout au moins, on a reconnu qu'il était possible que cette action chimique puisse être la cause de la désagrégation.

Des recherches sur l'action des eaux ferrugineuses ou vaseuses ont montré que les mortiers de ciment n'étaient nullement influencés par un séjour prolongé dans de pareilles eaux. Les recherches sur la détermination du degré de résistance des pierres naturelles aux intempéries ont été extrêmement nombreuses : elles ont porté sur 2953 constructions, parmi lesquelles un certain nombre avaient de 700 à 1 000 ans d'existence. Les résultats de ces investigations doivent faire l'objet d'une importante publication qui présentera certainement un très grand intérêt.

La conservation du fer dans la maçonnerie a été l'objet d'études approfondies. On a constaté jusqu'à présent des phénomènes défavorables dans la construction d'un plafond en briques avec charpente en fer. Par contre, dans des plaques en ciment armé épaisses de 6 à 8 *cm* et qui étaient en service depuis plus de dix ans on a constaté que le fer recouvert par le mortier était parfaitement conservé.

M. Mercier, Conducteur des Ponts et Chaussées, chargé des essais au laboratoire des Ponts et Chaussées a présenté une étude sur l'essai de flexion des agglomérants hydrauliques. Cette méthode d'essais a été préconisée depuis longtemps par M. l'Inspecteur général Durand-Claye qui, dans une communication présentée à la Commission des méthodes d'essais, en 1892, a montré que l'essai de flexion des ciments exécuté sur des prismes de 12 *cm* de longueur et de section carrée de 2 *cm* de côté posés sur deux appuis, distants de 10 *cm* et chargés en leur milieu, condui-

sait à des résultats à peu près aussi réguliers que l'essai par traction sur des éprouvettes en 8, de 5 *cm* carrés de section minimum, et ne donnait lieu qu'à des écarts de même ordre.

Ces essais ont été repris depuis quelque temps au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées et portent sur des échantillons de chaux et de ciment de toute nature et de provenances diverses. Ces essais ont été faits avec du sable normal de Leucate, un sable quartzeux naturel très fin, qui n'est autre que le sable de Fontainebleau, et enfin avec un sable composé d'une partie de sable de Fontainebleau et de deux parties de sable normal. On a expérimenté des mortiers au dosage suivant : pour le ciment, une partie d'agglomérant pour trois de sable en poids, pour la chaux, une partie de l'agglomérant pour cinq de sable en poids. Les résultats de ces essais sont très intéressants et leur examen conduit aux remarques suivantes : 1° chaux en pâte et mortiers de chaux ; l'écart moyen pour cent calculé sur la moyenne des résultats de six éprouvettes de chaque série est, généralement, plus faible pour les prismes que pour les briquettes ; il est, au contraire, un peu plus élevé pour les prismes que pour les briquettes, puisqu'il est calculé sur la moyenne des trois éprouvettes maxima. Pour le ciment en pâte et les mortiers de ciment, l'écart moyen pour cent calculé sur la moyenne des résultats de six éprouvettes de chaque série ou sur la moyenne de trois éprouvettes maxima est, généralement, plus faible pour les prismes que pour les briquettes.

En ce qui concerne lès trois mortiers expérimentés, les mortiers avec le sable obtenu par le mélange des sables de Leucate et de Fontainebleau est celui qui donne en général les écarts moyens les plus faibles. Le rapport entre la résistance à la flexion et à la traction, signalé par M. Durand-Claye en 1892, comme voisin de 1,9, ne s'écarte pas sensiblement de ce nombre pour les pâtes pures de chaux et de ciments ; il accuse cependant une tendance à l'augmentation lorsque les éprouvettes deviennent plus résistantes pour des périodes d'essais au delà de 28 jours. Pour les mortiers de chaux ou de ciment, ce rapport plus faible est, en moyenne, de 1,7 ; il n'y a pas tendance à augmentation marquée pour les périodes d'essais éloignées. La confection des prismes en mortier ne présente pas plus de difficultés que celle des briquettes. Nous remarquerons que dans les essais de M. Mercier on peut constater que les mortiers plastiques donnent des résultats sensiblement aussi réguliers que ceux obtenus à l'aide

des mortiers secs. La Commission française des méthodes d'essais a préconisé l'emploi de ces mortiers plastiques en estimant que, dans un avenir plus ou moins rapproché, ils pourraient être substitués complètement aux mortiers secs, généralement employés. Si cette question a été étudiée en France d'une manière très suivie, il faut reconnaître qu'il n'en est pas de même à l'étranger, où elle n'a jamais été envisagée sérieusement, et on peut dire que, à l'exception des essais exécutés en France, l'usage des mortiers secs est actuellement universel et on ne peut guère espérer que l'on renonce à cette méthode d'opérer.

MM. Zielinski et Zhuk ont présenté un rapport sur les méthodes comparatives pour l'essai des ciments romains en tenant compte du contrôle nécessaire à leur emploi dans la pratique. Dans la première partie de leur étude, ces messieurs examinent les méthodes d'essais employées généralement et destinées à comparer les différents ciments entre eux. Ils préconisent certaines modifications aux essais en cours. Il serait trop long d'entrer dans l'examen de leurs diverses propositions. Dans la deuxième partie de leur étude, ils examinent les procédés que l'on doit employer pour vérifier la valeur des ciments au point de vue de leur emploi dans la construction.

Ces méthodes doivent pouvoir être utilisées sur les chantiers en toutes circonstances par l'Ingénieur chargé de surveiller la construction, sans qu'il soit besoin d'avoir recours à des appareils compliqués, tout en permettant de s'assurer de l'emploi raisonné et correct du ciment.

La conclusion du rapport de MM. Zielinski et Zhuk est la suivante :

En raison de tout ce que nous venons d'exposer, nous invitons le Congrès international de l'Association pour l'essai de matériaux à déclarer que les résistances fournies par les essais normaux ne doivent servir à l'avenir, quels que soient les procédés employés, qu'à comparer les ciments entre eux, tandis que la manière dont ils seront employés dans la pratique dépendra des exigences spéciales du constructeur et sera déterminée à l'aide d'expériences faites sur le chantier au cours desquelles la nature du ciment, du sable et de l'eau qu'on aura à sa disposition sera prise en considération.

Ces propositions ont été renvoyées à l'examen du Comité directeur.

Dans les divers Congrès qui ont précédé celui de Budapest, on s'est occupé de rechercher des méthodes d'essais accélérées pour la réception des ciments.

M. Berger, Président de la Commission n° 9, a exposé l'état de la question. Les investigations ont été dirigées surtout du côté des essais à chaud. On pouvait espérer, en effet, que les éprouvettes plongées dans des bains à 100° atteindraient en quelques jours la résistance qu'elles présentent seulement après plusieurs semaines dans l'eau à la température ordinaire. De très nombreux essais ont été exécutés pour comparer la résistance à la traction et à la compression obtenues à froid et à chaud. Les résultats, sans être tout à fait concluants, ont permis de considérer l'essai accéléré comme une orientation.

M. Berger propose donc d'employer, comme indication préalable sur le durcissement du ciment portland, l'essai à l'eau chaude après six jours à la traction et à la compression.

Les éprouvettes sont composées d'une partie en poids de ciment pour trois parties de sable. Les propositions de M. Berger ont été renvoyées au Comité directeur et la question devra donner lieu à de nouvelles recherches. M. Le Chatelier a présenté sur le même sujet un mémoire, dans lequel il préconise l'emploi d'essais accélérés et simplifiés. Les essais seraient limités à quatre, et porteraient sur la finesse, la rapidité de prise, l'invariabilité de volume à chaud, la résistance à la flexion. M. Le Chatelier recommande aussi l'essai à chaud, mais il estime qu'il ne doit pas prouver si le ciment est mauvais. Dans le cas où le ciment supporte bien l'essai, on peut être assuré qu'il est bon ou tout au moins qu'il ne contient pas d'expansifs. S'il ne le supporte pas, on ne peut pas affirmer qu'il soit mauvais, mais, alors, il faudrait recourir à des essais plus étendus.

M. Blount, chimiste du Ministère de la Marine, à Londres, a exécuté un grand nombre d'expériences sur l'invariabilité de volume des ciments. Il recommande comme absolument concluant l'essai sur pâte pure de ciment maintenu pendant sept jours dans l'eau à 45°. L'éprouvette ne doit pas subir d'allongement supérieur à 0,2 *mm* et ne présenter aucune fissure. Les mesures sont exécutées à l'aide de l'appareil de Bauschinger.

M. Feret, chimiste du laboratoire des Ponts et Chaussées, à Boulogne-sur-Mer, a présenté un mémoire très intéressant sur

l'adhérence des mortiers. Après avoir examiné les diverses méthodes employées pour mesurer l'adhérence des mortiers, il s'est arrêté au dispositif imaginé par MM. Coignet et Tédesco qui consiste à noyer un fer rond dans un mortier de manière qu'il affleure celui-ci et dépasse de quelque centimètres la face opposée. Après durcissement, on pose le bloc sur une plaque percée d'un trou rond un peu plus large que la tige de fer et on exerce une pression croissante sur l'extrémité débordante de la tige jusqu'à ce qu'elle se décolle du mortier et glisse dans sa gaine.

Les principaux résultats obtenus par M. Feret sont les suivants :

Avec les pierres, l'adhérence dépend beaucoup de leur grain, et elle est d'autant plus forte qu'elles sont plus poreuses; l'adhérence paraît indépendante des dimensions des aspérités de la surface. Avec le fer, au contraire, l'adhérence est plus forte quand sa surface est rugueuse que quand elle est lisse. L'adhérence est fortement diminuée quand la surface des pierres est sale ou a été insuffisamment mouillée avant l'application du mortier. Avec un même corps quelconque, l'adhérence des mortiers est peu influencée par les qualités du ciment employé, elle est quelquefois plus forte avec les mauvais qu'avec les bons. Avec une même nature de ciment, elle est d'autant plus forte que celui-ci est moulu plus finement. La grosseur du sable a une grande influence sur l'adhérence; elle est plus grande avec le sable à gros grain qu'avec le sable fin. La proportion d'eau de gâchage a une très grande importance. Le maximum d'adhérence est obtenu avec des mortiers à consistance plastique ou un peu molle. Elle diminue considérablement quand le mortier est gâché trop sec. Les mortiers maintenus dans l'air humide ou dans l'eau présentent une adhérence satisfaisante; celle-ci diminue beaucoup si le mortier est maintenu dans l'air sec. Le froid ne paraît avoir aucune influence fâcheuse sur l'adhérence.

M. Foss, Ingénieur à Copenhague, a présenté au Congrès un mémoire sur la détermination des coefficients de résistance du ciment portland permettant de calculer la résistance des travaux en ciment d'après la méthode de M. Feret. Les recherches de M. Feret sur les mortiers l'ont amené à constater que, entre la résistance à la compression obtenue après une durée quelconque et les volumes élémentaires du ciment et du sable, il existe une relation qu'il exprime par la formule : $P = K \left(\frac{c}{1 - s}\right)^2$, dans

laquelle P est la charge de rupture par centimètre carré, *c*, *s*, les volumes élémentaires du ciment et du sable. K est un coefficient numérique qui, pour un même ciment et pour toute sorte de sable, après une même durée dans des conditions identiques, doit être constant quelle que soit la composition du mortier. M. Feret a proposé d'utiliser cette formule pour l'essai des mortiers. On peut ensuite déduire la résistance de tout mortier de même âge fait avec le même ciment, si on détermine la constance K à l'aide d'essais préliminaires. Cette méthode aurait ainsi le grand avantage non seulement de supprimer toutes les erreurs dues au mode d'exécution des essais, mais aussi de donner des indications directement utilisables dans la pratique.

Frappée de ces avantages, la Société des fabricants scandinaves de ciment portland décida d'étudier cette question et nomma une Commission dans ce but. Le laboratoire d'essais de matériaux de l'École supérieure technique royale de Stockholm fit également une série de recherches sur la méthode de M. Feret. Ce sont les résultats de ces diverses recherches qui sont exposés par M. Foss. Sans pouvoir entrer dans le détail de tous ces essais, ce qui nous entraînerait trop loin, disons que les résultats ont été trouvés assez concordants et le rapporteur estime que l'on doit étudier de plus en plus cette méthode qui, dans l'avenir, pourrait être substituée à toutes celles actuellement en usage.

Nous avons encore à signaler une communication de M. Considère sur le béton armé, dans laquelle il expose les résultats si remarquables de ses recherches sur cette question. Cette communication ne peut pas se résumer et nous engageons vivement tous ceux qui s'intéressent au ciment armé à la lire *in extenso*.

En dehors des questions qui se rattachent spécialement aux chaux et ciments, nous devons citer encore un rapport de M. Herfeldt sur les essais de trass. Ce rapport a été déposé au nom de la Commission n° 11, qui était chargée d'établir des propositions sur la manière d'essayer les pouzzolanes au point de vue de leur valeur pour la fabrication des mortiers. Les principaux essais recommandés pour essayer les trass sont les suivants :

Détermination de la perte due à la dessiccation, détermination de la perte au feu, finesse de mouture, essais de prise et, enfin, résistance à la traction et à la compression sur des éprouvettes composées de deux parties en poids de trass : une partie en poids de chaux hydratée en poudre, trois parties de sable normal.

Le Congrès n'a pris aucune résolution sur la proposition de la Commission 11 et les recherches sur ce sujet devront êtres continuées.

Dans les matériaux autres que les métaux, nous avons eu également des communications de M. Schaffarzik sur la carte des carrières et gisements des pierres à bâtir de la Hongrie ; le rapport de M. le docteur Kovacs sur l'asphalte, son existence dans la nature et les recherches qui s'y rapportent; le rapport de M. Friedrich sur la manière dont on peut se garantir dès la réception des charpentes contre l'invasion éventuelle du champignon des caves.

Par l'exposé rapide que je viens de faire des communications présentées au Congrès de Budapest, vous avez pu voir que les travaux présentés avaient un réel intérêt; si ces travaux n'ont pas conduit à des conclusions fermes et n'ont pas permis de prendre des résolutions immédiates, on peut estimer cependant que tous ces mémoires constituent des documents d'une grande valeur et permettent de poser pour les Congrès futurs des bases certaines de nature à conduire à des résultats définitifs.

Il faut espérer, d'ailleurs, que les membres français de l'Association, répondant à l'appel qui leur a été fait par M. Le Chatelier, membre du Comité directeur pour la France, prépareront, dès maintenant, pour le Congrès de Saint-Pétersbourg, des études aussi nombreuses que possible, de manière que la prépondérance des Français soit, comme dans le dernier Congrès de Budapest, obtenue surtout par la valeur des communications plutôt que par le nombre des adhérents.

CONTRIBUTION

A LA RECHERCHE DE L'INSUBMERSIBILITÉ

DES GRANDS NAVIRES D'ACIER

PAR

M. E. DUCHESNE

Quelques jours après le naufrage de *la Bourgogne*, en 1898, j'ai dit ici même quelques mots sur les moyens possibles et désirables de conserver les navires à flot après collision en mer, et j'ai proposé de rechercher l'insubmersibilité en partant du principe de deux grandes cloisons longitudinales placées un peu à l'intérieur du bordé du navire. Je m'étais promis de soumettre, un peu plus tard, à la critique de nos Collègues, un projet conçu d'après ce système et montrant clairement la possibilité d'une telle construction, non seulement au point de vue technique, mais aussi de l'exploitation au moins aussi facile que celle d'un navire ordinaire de mêmes dimensions, compartimenté comme, par exemple, *Deutschland* avec ses dix-neuf cloisons transversales, ou comme tout autre grand paquebot actuellement à flot. Mais l'approche de l'Exposition de 1900 d'une part, et, d'autre part, le concours institué par les héritiers d'Anthony Pollok, l'une des victimes du naufrage de *la Bourgogne* précité, m'avaient fait espérer que la solution du problème n'était plus qu'une affaire de quelques mois. Mais l'Exposition et le concours n'ont donné, en ce sens, que des résultats insuffisants. Un deuxième concours a eu lieu au Havre pendant le mois de septembre qui vient de finir, et cette fois encore nous avons été déçus. Le concours, d'ailleurs, n'admettait que les appareils de sauvetage applicables aux navires déjà existants ; mais le programme n'était pas très clair, et certains ingénieurs avaient exposé des mémoires, des dessins et des modèles relatifs à des constructions nouvelles qui furent impitoyablement écartés par le jury, en conformité des instructions qui lui avaient été fournies.

Parmi ces ingénieurs, je citerai notre éminent Collègue hono-

raire, M. Bertin, qui avait envoyé un album de plans et, entre autres, son intéressant mémoire du Congrès international d'architecture navale de l'Exposition de 1900, où il examine la construction des grands paquebots futurs au point de vue de leur stabilité après abordage ; ces paquebots étant compartimentés dans l'entrepont à la hauteur de la flottaison.

M. Goulaïeff, membre du même Congrès, Ingénieur des Constructions navales de la Marine impériale russe, avait envoyé un modèle de cuirassé de 30 *m* de largeur, avec trois séries de caissons parallèles sur chaque bord.

MM. Mauchin et Boudreau avaient envoyé le modèle que nous avions vu à l'Exposition de 1900, et qui consiste en flotteurs étanches, à superstructures et à plates-formes et passerelles de sauvetage.

Tous ces travaux étaient des plus intéressants, mais je n'y ai pas trouvé la solution que j'aurais désirée.

J'ai donc repris l'étude que j'avais commencée en partant du principe des grandes cloisons longitudinales. Je reconnais qu'il y a là un changement radical dans les méthodes ordinaires de construction des navires de commerce ; mais il n'est peut-être pas hors de propos de faire observer que, malgré d'immenses progrès réalisés, surtout dans l'accroissement des dimensions, dans les chaudières et les machines et dans la vitesse du navire, la construction navale n'a modifié en rien ses méthodes générales, tandis que les ponts et les combles en métal, et en un mot tous les grands travaux en fer ou en acier ont été conçus d'après des idées nouvelles et en rapport avec les exigences croissantes à satisfaire. C'est ainsi que pour les ponts, nous avons vu les plus petits formés de simples poutres droites en double I. Puis, pour les portées plus grandes, on a vu apparaître le treillis ; puis, encore, la poutre sous profil d'égale résistance pour arriver enfin au pont du Forth dont le système est entièrement différent de ce qu'on avait fait jusque-là. Pour les combles, c'est encore la même chose : on passe par progrès successifs de la ferme ordinaire en bois ou en métal au magnifique système de la Galerie des Machines. Dans la construction navale, au contraire, le navire de 200 *m* de longueur est établi à peu près comme le navire de 50 *m*, en changeant seulement les dimensions des échantillons ; il y a quelques ponts de plus, quelques cloisons étanches transversales et c'est à peu près toute la différence. Le principe général reste le même.

Il n'est pas nécessaire, *a priori*, de changer parce qu'il est ancien, un système qui donne de bons résultats; mais en ce qui concerne la construction navale du commerce, on ne peut pas admettre plus longtemps qu'elle reste impuissante à établir des navires pratiquement insubmersibles. Il faut trouver autre chose. Bien entendu ce changement de système ne veut pas dire qu'il faille bouleverser de fond en comble et sans raison les installations et les aménagements auxquels nous sommes habitués depuis longtemps, mais cependant je crois que les marins et les voyageurs aimeraient mieux supporter une certaine gêne pendant la traversée, avec la certitude presque absolue d'arriver au port, que d'avoir toutes leurs aises et même un grand luxe pour quelques-uns, avec des chances de couler à fond dans un trop grand nombre de circonstances.

Depuis plus de trente ans que je m'occupe des choses de la mer, j'ai vu, dans la majorité des cas, les navires couler à fond après abordage parce que leurs cloisons étanches se tordaient et se déclouaient sous les efforts qu'elles avaient à subir ; plusieurs compartiments se trouvaient envahis et bientôt le navire s'engloutissait par excès de poids, par chavirement ou par plongée oblique suivant son axe longitudinal, ce dernier cas, assez rare, mais, cependant, observé plusieurs fois.

C'est donc, généralement, parce que leurs cloisons étanches ont cédé que les grands navires ont coulé au fond des mers ; ces navires, pourtant, étaient, on peut le dire, construits suivant toutes les règles de l'art, car, lorsqu'il s'agit de ces géants auxquels passagers et marins, par milliers, confient leur existence, nul effort, nul travail n'est épargné par l'armateur, l'ingénieur ou le constructeur.

Pour quelles raisons, donc, voit-on céder les cloisons?

C'est sur ce point que je désire attirer l'attention des Membres de notre Société.

Quand l'accident se produit, on ne manque pas de l'attribuer à la malfaçon ou à la mauvaise qualité des matériaux.

Mais, c'est là, pour moi, une grave erreur, au moins dans la majorité des cas.

La cloison étanche a cédé parce que, la coque étant crevée, *elle se déforme ;* les cloisons qui y sont liées se déforment avec elle ; aussi les rivets sautent et les brèches ne font que s'accentuer ; dès lors, il n'y a plus de cloisons étanches et l'eau pénètre partout.

Il faut donc éviter la déformation de la coque après un abordage, et, pour cela, transformer *radicalement* le *système* de construction de la *poutre creuse flottante* qu'est le grand paquebot moderne.

Les petits navires, en raison de leurs dimensions et de leurs formes, flottent à peu près comme des bouchons; tandis que l'énorme poutre creuse que nous considérons peut, en certains cas, reposer sur l'eau soit par ses deux extrémités, soit par son milieu seulement: c'est classique. Elle subit donc des flexions dans tous les sens; flexions très dures auxquelles elle ne résiste pas toujours bien : les fibres les plus fatiguées peuvent aller même jusqu'à la rupture ainsi que nous l'avons vu, d'ailleurs, en certains cas.

Certains navires, ayant manqué leur lancement, et reposant sur leur ber seulement par la moitié de leur longueur, ont vu leur préceinte se fendre!

La rigidité de cette poutre est assurée, dans la construction actuelle, par les ponts avec leurs gouttières et renforts, les carlingues, et *surtout* par LE BORDÉ EXTÉRIEUR haut et bas. C'est lui qui supporte les plus grands efforts.

C'est tellement bien admis, parmi les constructeurs et ingénieurs, qu'on voit *toujours* augmenter l'épaisseur de certaines virures, comme les préceintes, les bouchains, les galbords, etc.; c'est-à-dire les virures où les fibres de la poutre sont les plus éloignées de la fibre neutre, et, par conséquent, celles qui sont le plus chargées en traction ou en compression.

En cas d'abordage, qu'arrive-t-il? Eh bien, il arrive que la poutre étant cisaillée sur une certaine hauteur, et précisément, à un endroit où les fibres sont trop chargées, on peut dire qu'elle n'existe plus, puisque lorsqu'elle est intacte, elle ne résiste que tout juste, comme nous l'avons vu plus haut.

Elle tend donc à se déformer, à se rompre, et ses extrémités s'inclinent chacune de son côté, car le poids de ces deux parties extrêmes qui, *déjà, ne se portent pas elles-mêmes sur l'eau*, augmente la flexion et la déchirure, et le navire est perdu. C'est si vrai que si un navire est abordé par l'avant il est sauvé, dans la plupart des cas, parce que le cisaillement de la poutre s'est opéré à un endroit où elle travaille relativement peu et ne fléchit pas, et ses cloisons conservent leur efficacité. La voie d'eau est localisée, et le navire peut continuer sa route.

Après l'abordage dans la région médiane, la flexion, au début, peut être insensible à l'œil, mais elle n'en existe pas moins et

elle transmet des efforts énormes à toutes les cloisons qui se voilent, se dérivent avec violence et se déchirent en donnant partout passage à l'envahissement de l'eau.

Le remède à cet état de choses est, à mon avis, de ne pas confondre le navire *poutre* avec la *vessie flottante*, ce qui, jusqu'ici, paraît avoir été la règle générale.

Il faut que le bordé extérieur ne soit que *la peau* et puisse être crevé sans que la *poutre* placée à l'intérieur, à l'abri des abordages, subisse une déformation quelconque, et cette poutre indéformable, étanche elle-même, sera le salut.

Selon moi, c'est le grand point qui semble, pour une cause ou pour une autre, avoir échappé aux constructeurs des grands navires!

C'est que, jusqu'ici, à ma connaissance du moins, on n'avait jamais envisagé la question comme je viens de l'exposer ci-dessus quoique, en 1885, lors de la 27e session des Naval Architectes, à Liverpool, M. John ait attiré l'attention de ses collègues sur les résultats d'un abordage, même par un simple voilier, qui déchire la préceinte et la gouttière et alors la semelle supérieure de la poutre n'existe plus, et c'en est fait du navire s'il rencontre une mer un peu dure, et il propose l'emploi d'une cloison longitudinale centrale pour obvier à cet accident, mais, pour moi, c'est insuffisant et c'est dangereux pour la stabilité. Ce qu'il faut, c'est, « malgré l'abordage, conserver à la poutre » toute sa rigidité quel que soit l'état de la mer de telle façon que » les cloisons étanches longitudinales, transversales, horizontales » ou verticales établies à l'intérieur du navire ne se déforment » pas et, par suite, conservent toute leur efficacité. »

C'est pour atteindre ce but que j'ai dressé le projet qui suit et qui est le résultat de plus de vingt années d'études et d'observations qui m'ont été grandement facilitées par les dix années que j'ai passées au service technique du bureau Veritas, en qualité d'Ingénieur expert, et qui m'ont bien fait voir qu'il n'y a aucune difficulté dans l'exécution d'un navire établi suivant les règles du système auquel je me suis arrêté définitivement.

Ce système consiste à établir, presque de bout en bout du navire, deux cloisons étanches longitudinales et très résistantes, placées à trois ou quatre mètres du bordé; ces cloisons, l'une à bâbord, l'autre à tribord, allant du pont supérieur au-dessus des varangues.

Entre ces deux cloisons, sur les têtes des varangues, existe

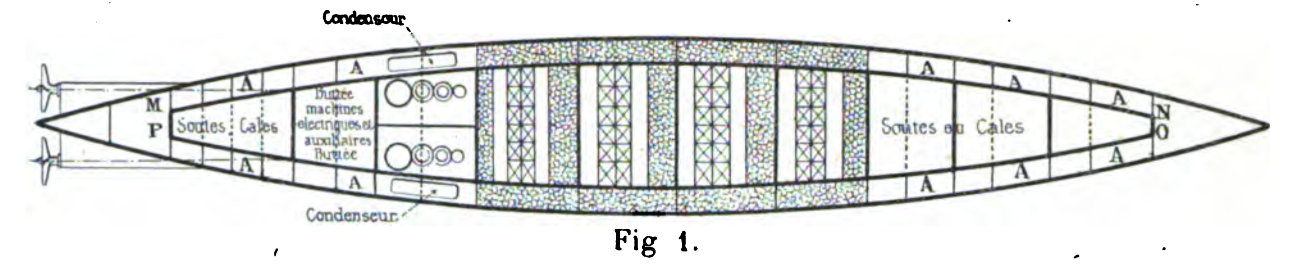


Fig 1.

Les traits forts représentent les matériaux d'acier à haute résistance, ils figurent la Coque extérieure et le grand Caisson central MNOP, les Ponts et les Cloisons transversales de ce Caisson

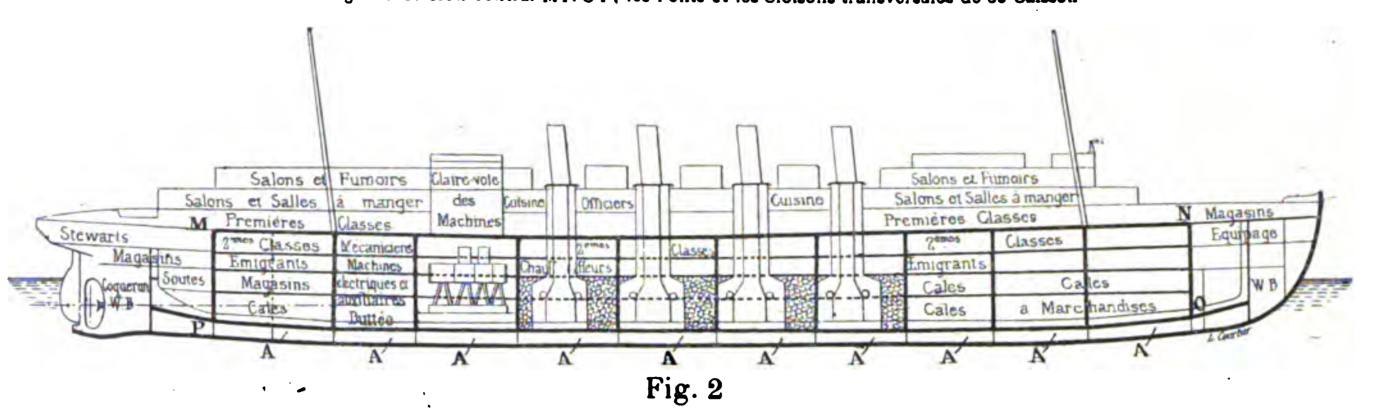


Fig. 2

Les traits forts ont la même signification que dans la figure 1. — Les compartiments AA... font communiquer entre eux les compartiments latéraux, ils peuvent en grande partie servir de Water ballast ordinaire.

un plan de tôles épaisses formant double fond, et de toute la longueur des deux cloisons précitées, auxquelles il est relié par des cornières de pied et des goussets à la demande.

L'énorme caisson rectangulaire ainsi formé reçoit des cloisons étanches transversales partout où on le juge utile suivant la des-

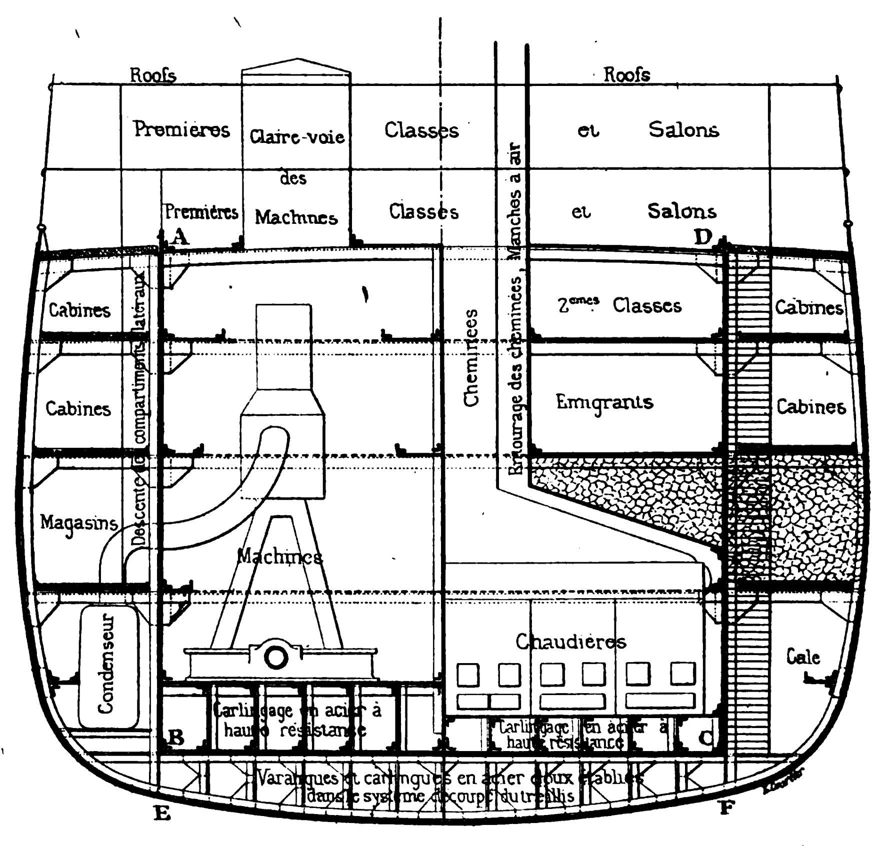


Fig. 3.

La poutre centrale en matériaux à Haute résistance est représentée par A B C D.
Une partie des fonds B C E F peut servir de Water-ballast en laissant au moins une maille pour la communication des caissons latéraux d'un bord à l'autre.

tination du navire, soit, par exemple, une dizaine sur un grand navire, non compris celles qui ferment le caisson aux deux extrémités. C'est lui qui constitue la poutre armée indéformable par abordage ou échouement.

On voit qu'il existe des espaces vides :

1° Entre le fond du caisson et le fond du navire; c'est un

waterballast de construction ordinaire auquel il n'y a rien à changer pour ainsi dire, mais sans tôles de côté;

2° Entre les parois verticales dudit caisson et les murailles du navire.

Ces espaces communiquant entre eux (puisque le double fond ne va pas jusqu'en abord) sont divisés, sur la longueur, en un certain nombre de compartiments transversaux par des cloisons étanches formant porques, allant du bordé extérieur au bordé du caisson, aussi bien dans le waterballast que dans les compartiments latéraux, de sorte que le grand caisson est entouré sur trois de ses côtés par des compartiments étanches qui lui font une protection contre les abordages ou échouages.

Dans le sens de la hauteur, ces compartiments étanches sont divisés en plusieurs étages par des ponts établis sur barrotins, comme les ponts ordinaires, soit environ tous les deux ou trois mètres. Mais ces ponts ne sont pas étanches, et c'est là une précaution contre le chavirement ou même, simplement, la bande en cas d'envahissement de l'eau, qui descend dans les fonds du navire au lieu de rester d'un seul bord, et qui remonte ensuite dans le compartiment latéral du bord opposé, d'où conservation de l'équilibre et pas de chavirement.

La construction de ces compartiments est faite en matériaux relativement légers d'échantillons, en acier à faible résistance, 38 à 42 *kg* par millimètre carré et à grand allongement de 26 à 32 0/0; tandis qu'au contraire la construction du caisson central est très robuste et en acier à haute résistance : 48 à 52 *kg* et 14 à 18 0/0 d'allongement environ, mais le bordé extérieur est également en matériaux résistants, soit 46 à 50 *kg*.

Ceci posé, admettons qu'un abordage vienne à se produire en un point quelconque : la coque est crevée, les membrures, barrotins et ponts latéraux sont tordus ou cassés, mais le grand caisson résiste parce que :

1° Sa construction est robuste;

2° Les matériaux d'acier doux des compartiments extérieurs se sont déchirés ou tordus en amortissant le choc sans le lui transmettre d'une façon dangereuse pour lui. En fait, ils font tampon.

L'eau, après abordage, entre donc dans le compartiment défoncé, mais, comme nous l'avons vu tout à l'heure, elle passe dans le waterballast et remonte de l'autre bord jusqu'à ce qu'elle ait repris son niveau. Le navire enfonce un peu, mais il con-

serve son équilibre et ne court aucun risque de chavirer si les compartiments latéraux qui servent de cales sont chargés de marchandises à peu près homogènes, comme tout bon capitaine aura, d'ailleurs, cherché à le faire. Les conséquences de l'abordage seront donc peu graves, même si deux compartiments voisins sont envahis, car leur volume n'est pas bien considérable. Quand le niveau de l'eau sera établi des deux bords, on pourra boucher hermétiquement les ponts latéraux situés au-dessus de la brèche, l'eau sera en quelque sorte emprisonnée et, pendant les roulis, ses mouvements se trouveront réduits au minimum, quelques décimètres à peine. D'ailleurs, pendant la durée d'une oscillation, la masse d'eau ainsi renfermée n'aura pas le temps d'acquérir une vitesse à craindre, car chaque pont latéral forme un écran non étanche, il est vrai, mais n'ayant cependant que des ouvertures assez peu considérables et, malgré l'accident, le navire est maintenu dans des conditions de stabilité suffisantes.

En ce qui concerne la stabilité longitudinale, on peut voir que les compartiments latéraux peuvent se remplir sans danger pour elle. Mais les compartiments qui sont situés à l'avant et à l'arrière du grand caisson central sont dans des conditions différentes en raison de leur distance du milieu du navire. Il est certain que si un grand poids d'eau venait à pénétrer dans l'un de ces compartiments et s'y trouvait localisé, le navire s'inclinerait d'une façon fâcheuse pour son équilibre. Pour y obvier, j'ai pensé qu'il suffisait de mettre ces deux compartiments en communication au moyen d'un tuyau ou d'une carlingue tubulaire dans le waterballast, de sorte que si, par exemple, l'un des deux se remplit, le second en fait autant et le navire reste droit tout en s'enfonçant légèrement, parallèlement à lui-même, proportionnellement d'ailleurs à la quantité d'eau embarquée.

Nous venons de voir l'effet que pourra produire sur le navire ainsi construit une large brèche dans sa coque extérieure. Dans la plupart des cas, les ponts latéraux avec les marchandises qu'ils contiendront, suffiront à empêcher l'abordeur de crever le grand caisson central. Il est donc en sécurité, mais l'eau ne doit pas non plus y pénétrer d'autre façon. Il faudrait donc prévoir qu'il n'existera pas de communication entre ces deux parties du navire si ce n'est par les hauts, ce qui, à certains moments, pourrait gêner par trop le service à bord. J'estime qu'on peut percer des portes à fermeture étanche dans les murailles du caisson central, mais ces portes devront être fermées rigoureusement par

temps de brume ou pendant la nuit, et comme, d'autre part, nous voulons conserver à ce caisson toute sa résistance de poutre, les portes ne seront percées qu'à la hauteur de la fibre neutre ou à peu près. Ceci permettra d'utiliser un certain nombre de compartiments latéraux comme soutes à charbon qu'on pourra vider, à l'occasion, dans les soutes de consommation journalière situées au-dessous, dans le grand caisson. Certains ingénieurs m'ont déjà fait observer que ces portes pourront donner passage à l'envahissement de l'eau, mais nous savons qu'il existe actuellement, à bord de certains paquebots, des systèmes électriques permettant au capitaine, dans la chambre de veille, de *voir* la position de toutes ses portes. Il pourra donc les faire clore quand le besoin s'en fera sentir.

Elles seront utiles, d'ailleurs, pour embarquer le charbon, car elles pourront justement se trouver en face des sabords spéciaux pratiqués sur la coque externe, à la place où ils se trouvent sur les navires actuels. On a dit aussi qu'avec ces cloisons qui divisent la largeur du navire en trois parties inégales, il serait impossible d'y loger les machines dont les condenseurs touchent le bordé dans les navires à deux hélices. Je commence par dire que, en ce qui concerne les grands navires à voyageurs, il faut toujours adopter les deux hélices dont les avantages sont tellement évidents qu'il n'est pas nécessaire d'y insister. Il en est un, cependant, qui passerait inaperçu, mais qu'il faut signaler. C'est que le navire est chargé symétriquement par rapport à son plan diamétral, ce qui n'est pas le cas pour les hélices uniques; et en ce qui concerne le logement des machines, il suffira de placer les condenseurs qui ne sont, en somme, que de grandes caisses, dans les compartiments latéraux, comme on le voit aux plans annexés.

Les pompes à air et de circulation seront installées à part, mues par une machinerie spéciale dont l'allure sera réglée par les grandes machines elles-mêmes qui n'auront d'autres fonctions que de faire tourner les hélices. Bien des navires sont installés de cette façon qui donne de très bons résultats. La chambre des machines sera divisée en deux par une cloison longitudinale robuste qui pourra être étanche, mais qui aura surtout pour but d'ajouter aux consolidations longitudinales du navire.

Les chaudières, que je prévois à tubes d'eau, pourront être installées longitudinalement ou transversalement; ce dernier système est préférable, car il présente beaucoup d'avantages parmi

lesquels je signale que les cloisons des soutes peuvent servir de cloisons étanches tout en entretoisant, d'une façon robuste, les murailles du grand caisson central. Ce dernier est divisé dans sa hauteur par des ponts à la hauteur des ponts des compartiments latéraux, le tout établi avec la plus grande solidité. Les aménagements pour les passagers seront installés comme sur les navires ordinaires, avec seulement quelques changements sans importance: l'examen des plans ci-joints nous le montre clairement.

Seulement, pour diminuer les poids inutiles en faveur de l'acier de la charpente et de la coque entière, on renoncera à l'emploi de baignoires en marbre, de menuiseries et de moulures en bois lourds et massifs dans les salons, les fumoirs, les escaliers même, etc.; on remplacera tout cela par des moulures plus sobres en liège moulé, on emploiera davantage la peinture décorative, ce qui fera tout autant d'effet et aura, d'ailleurs, autant de prix sinon plus. De cette façon, on pourra construire des navires pratiquement insubmersibles qui pèseront à peine plus lourd que leurs frères en aspect extérieur construits sur l'ancien système et qui auront au moins, sur eux, l'avantage de conserver la vie à leurs passagers en se sauvant eux-mêmes, ce qui n'est pas à dédaigner, car ils valent des 10 et 15 millions. M'est avis que les assureurs n'y verraient pas d'inconvénient, pas plus d'ailleurs que les voyageurs et les marins. Il faut prévoir que certains armateurs accepteront difficilement ce changement dans la construction de leurs navires pour différentes raisons qu'il est inutile de rechercher. Je ne veux y voir que la routine : la diligence contre le chemin de fer, le navire à voiles contre le navire à vapeur.

Mais, comme je le disais ici même en 1898, il est permis de croire que si un navire était construit d'une façon pratiquement insubmersible, il serait choisi de préférence par les voyageurs, la poste et les valeurs; et je crois même qu'une augmentation du prix de passage serait admise volontiers car, lorsque ***Deutschland*** a fait ses premiers voyages, certains passagers ont payé des prix fous pour y trouver place. A plus forte raison en serait-il de même sur les navires en question.

La lutte pour la vie des marins est commencée, nous la continuerons, et nous sommes sûrs de l'aide matérielle de beaucoup de nos Collègues et de l'appui moral de tous. L'État lui-même nous aidera; c'est son devoir de protéger la vie de ces hommes

qui lui sacrifient la plus belle partie de leur existence; il nous aidera en imposant, quand il en aura le droit, l'emploi des moyens et systèmes efficaces de conserver les navires à flot, même s'il faut changer les habitudes des anciennes Compagnies de navigation. Si elles veulent y persister, on en verra de nouvelles s'établir sur d'autres bases plus larges et le succès leur appartiendra. *Audaces fortuna juvat.*

Pour finir, je tiens à faire observer que le système des cloisons-poutres est applicable aussi bien aux voiliers qu'aux vapeurs. Il va sans dire que tous les appareils d'épuisement, de sauvetage ou tous autres objets d'armement, etc., trouveront leur emploi à bord des insubmersibles comme de tous les navires ordinaires; tous les systèmes de propulsion seront également applicables à ces navires : hélices, roues, turbines ou jets d'eau, comme aussi tous les types de générateurs de vapeur en attendant l'électricité.

LES MINES, LA MÉTALLURGIE ET L'ÉLECTRICITÉ
A L'EXPOSITION DE BUFFALO
ET DANS LA RÉGION NORD-EST DES ÉTATS-UNIS ET DU CANADA

PAR

M. Ch. VATTIER

Déjà, en 1893, une Commission d'Ingénieurs déléguée par notre Société a été aux États-Unis visiter l'Exposition de Chicago, et MM. Rey et de Dax, dans le compte rendu publié à cette époque, vous ont parlé des choses grandioses qu'ils ont pu observer à New-York, Boston, Washington et quelques autres régions du Nord-Est des États-Unis ainsi qu'au Canada.

Cette année, on a voulu réaliser à Buffalo une Exposition réservée uniquement aux Républiques de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud, sous le nom de « Pan-American-Exposition » devant durer du 1er mai au 1er novembre 1901.

Les capitaux nécessaires pour la réalisation de ce projet furent fournis, pour la plupart, par les négociants, industriels, hôteliers et habitants de Buffalo, qui constituèrent une Société espérant surtout tirer des profits par la présence de nombreux visiteurs dans cette région. La localité était du reste bien choisie.

Buffalo, ville déjà de plus de 300 000 habitants dans sa partie centrale, a pris en peu de temps une réelle importance, surtout au point de vue industriel.

Reliée à New-York par un chemin de fer, un des plus rapides des États-Unis effectuant le trajet en moins de huit heures, possédant d'importants canaux de navigation, cette ville est située sur une des rives du grand lac Érié, c'est-à-dire en communication facile avec les autres lacs Ontario, Michigan, Huron et Supérieur et est à quelques lieues seulement des chutes du Niagara.

Grâce aux puissantes forces motrices hydrauliques fournies par les chutes du Niagara, on a pu y développer les applications de l'électricité encore sur une plus grande échelle que dans d'autres régions et on est frappé de l'*exhubérance* de tramways

électriques, éclairages électriques, extraordinaires, usines électriques, etc., qu'on rencontre à Buffalo et dans ses environs. Déjà au « Niagara Falls » on a créé deux usines de forces motrices hydrauliques : l'une de 50 000 *ch* de force et l'autre de 20 000 et en ce moment on travaille à l'installation d'une autre force de 50 000 *ch*.

Cette transformation de Buffalo est encore relativement récente et on peut juger sur place de l'influence produite par ces innovations de l'électricité; ainsi, au centre même de la ville, les magasins sont éclairés à l'électricité d'une façon vraiment féerique et dont on ne peut se faire une idée en Europe, tandis que, dans quelques quartiers assez isolés, nous avons pu encore constater un plus que modeste éclairage avec des lampes à huile, tout comme on les employait il y a un siècle en Europe!

Quant à la physionomie générale de l'Exposition Pan-American, tout en reconnaissant son importance au point de vue du luxe des installations de ses bâtiments, jardins et lacs, de ses fêtes variées et exotiques (1), de son éclairage merveilleux à l'électricité et à l'acétylène, de son ampleur et de son administration, il ne faut pas lui donner une importance exagérée au point de vue d'innovations ni exhibitions industrielles ou même agricoles. On comprend, du reste, qu'aux États-Unis une Exposition ne puisse présenter quelque chose de bien nouveau aux visiteurs, puisque, dans ce merveilleux pays, aussitôt qu'une invention a même l'ombre d'un succès possible, on l'applique immédiatement, et ainsi n'importe qui peut l'observer dans la rue, dans les magasins, dans les usines!

C'est surtout la section de l'électricité qui attirait le plus l'attention et les produits des fours électriques méritent une mention spéciale. Les sections de mécanique, construction, n'offraient rien de bien nouveau et celles des mines et métallurgie étaient assez modestes.

Quant aux exhibitions des autres républiques américaines, sauf celles de Cuba, du Chili et du Mexique, elles étaient insignifiantes.

Je crois intéressant de dire quelques mots sur les diverses sections de cette Exposition, mais en me limitant à ce qui regarde les mines, la minéralogie, la métallurgie et l'électricité.

La note dominante dans toutes les sections est la présence,

(1) Le « Midlay » offrait les plus grandes attractions aux visiteurs.

même dans les exhibitions les plus insignifiantes des plus petites républiques sud-américaines, *de très nombreux échantillons de minerais de fer* et de tous les éléments (manganèses, combustibles, fondants, etc.) pouvant avoir quelque relation avec la sidérurgie, ce qui prouve la tendance et l'ambition de tous ces pays de réaliser pour leur propre compte dans leurs pays la métallurgie du fer.

CANADA — ÉTATS-UNIS

Canada.

Exhibition d'échantillons assez beaux d'améthystes du nord du lac Supérieur, de feldspath, de jaspes conglomérés (mines Desbarats), quartz blancs, corindons, minerais de cuivre et de nickel (Canadian Copper Sudbury), mattes de nickel, de blendes (Mine Zénith), minerais de fer (hématites) de « Helen Mine » Michipicotan (cote nord du lac Supérieur), marbres, calcaires divers.

On y voit également des lingots de fonte des hauts fourneaux de Middland et de quelques usines dont je parlerai plus loin et provenant d'hématites et limonites, dont les échantillons sont assez remarquables. Signalons également : des blocs de pyrites, de granite, d'apatite (phosphate de chaux), de cuivre natif dans des trappes amygdaloïdes, des minerais d'or, de cuivre (chalcopyrites, bornites, chalcocite, pyrrhotite); des blocs d'ox. de fer, de : fer = 68,85; fosf. = 0,026 de Darling, les blocs et planches de nickel; un échantillon de minerai de cuivre et nickel de Victoria Mines : cuivre = 4,5 0/0; nickel = 3,8; fer = 55 0/0; S. = 32 0/0; des blocs de graphite, des barres de fer et nickel de Sudbury contenant 6 0/0 de nickel, sans soufre (Sault-Sainte-Marie) et divers autres minéraux.

Enfin signalons encore dans le Canada: minerais d'or et d'argent, un gros bloc en graphite de Ottavia (Black Donald), les échantillons de minerais du lac Supérieur, avec le charbon de bois et les calcaires employés par la Compagnie de « Manistique », une vue de cette Usine, des fontes de « Champion » d'une qualité spéciale, et terminons par des : manganites, pyrolusites, calcites, corindon dans syénite, magnétites de Boyd cadwelmine.

États-Unis.

Missouri.

Galènes à grosses facettes de la contrée de « Christain », divers minerais de plomb de « Joplin » et « Gramby », quelques minerais d'argent, tronçons de lignites, granites mouchetés, perforatrices à diamants, mines de plomb de Bonne-Terre, blendes, calamines, silicates de zinc, barres de plomb, planches de zinc, blanc de plomb.

Idaho.

Minerais de plomb de Bunkerhill (Sullivan Mine), beaux minerais d'or et d'argent, minerais d'argent concentrés par le lavage, minerais de cuivre, asbestes, opales, cristal de roche, reproduction d'une usine de traitement de minerais d'or et de concentration, appareils pour recueillir les boues (Handsoff) et pour laver les sables aurifères. L'usine de Mountain en 1900 a produit : or = $ 2 076 036 ; argent = $ 8 468 839 ; plomb = $ 7 689 974 ; cuivre = $ 2 124 663 ; divers = $ 499 766 ; en tout $ 120 859 212.

Alaska.

Beaucoup de minerais d'or et échantillons de minerais de carbonate vert de cuivre.

Georgia, Pensylvania, etc.

Marbres, mines d'or, de manganèse (pirolusite), de Satterfields Mine, magnétites, limonites, corindon, pyrites destinées à faire l'acide sulfurique. Minerais de fer de Gorgie employés à « Cherokee » :

Fer mét. = 59,200, humid = 11,740, Ph = 0,110, silice = 3,230, alumine = 0,530, magnésie = 0,010, manganèse = 0,010.

Échantillons de fonte au coke de « Henry Clay » (Pensylvania) et de « Victoria » (Virginie). Anthracites employées dans les hauts fourneaux de « Oram » : charbon fixe = 85,900, carbures volatiles = 3,500, cendre = 8,000, soufre = 0,600, eau (desséchée à 100°) = 2,000, Ph = 0,008 Coke de « Pocahondos » employé à « Empire Steel », fontes à l'anthracite de « Crane », fontes au coke de Vanderbitt (Alabama), minerais de fer du fameux « Red

Mountain » (Alabama), fontes au coke de Hecla (Ohio), fontes au bois de Warner et de « Trunessee », blocs et morceaux de spath fluor, objets en fer et fonte fabriqués, améthystes, aluminium, bauxite de Chattaoga, chromite, rutile, hématites, corindon, galènes argentifères, barytes, marbres, gneis, nombreuses espèces de minerais de fer et de manganèse.

Névada.

Beaux échantillons de borates et borax, soufre, talc, pyrites, marbres, soude naturelle cristallisée, boracites.

Sel gemme de 99,55 0/0, soufre de 99 0/0. Pierres rares : turquoises, topazes, tourmaline. Minerais d'or, d'argent, de plomb.

Modèle d'une usine pour traitement de minerais d'or.

Washington.

Minerais d'or, d'argent, de cuivre et de plomb ; chalcopyrites, bornites, charbon, marbres verts.

Des minerais de « Northwest Montecristo Snohomisch » ont donné à l'analyse :

Valeur par tonne : or = 13 ozs., argent = 49 ozs., cuivre = 15 0/0
— or = 260 $, argent = 29,40 $, cuivre = 30 $.

Beaucoup de minerais donnent 1 onz. d'or par tonne, évaluée à $ 20.

Orégon.

Minerais d'or ; riches minerais de cuivre de 45 0/0 avec or évalués à 180 $ la tonne ; minerais de fer de Homson Smith, de manganèse, de mercure (cinabres), de nickel ; silice pour polir ; kaolins.

Une variété de garnerite donne : silice = 46,20 ; nickel = 24,88 ; magnésie = 20,00 ; hydr. ox. = 6,70 ; alum. = 1,40 ; fer = 0,82 ; minerais de cobalt et minerais de cobalt et or de : 19 0/0 de cobalt et de 100 $ d'or par tonne (smaltite évalué à 350 $ la tonne).

Il y a une usine de cyanuration de 15 bocards à « Nort Pole ».

Arizona.

Magnifique collection de géodes de malachite et azurite ; arsénites de cuivre ; cuprite ; érinite ; pétrifications siliceuses.

COLORADO, CALIFORNIE (1).

Minerais d'or très riches, d'argent, de cuivre ; ciment de Portland ; mines de fer.

Statistiques de la production de l'or à « Cripple Creek » (district de Colorado) :

Total pour 10 ans = $ 93 753 467 ; production moyenne par an = $ 9 375 346 ; en 1900 = $ 22 500 000.

Hommes employés en 1900 = 4 500 ; mines travaillées = 75 ; broyeurs = 7 ; fonderies = 5 ; val. moy. par tonne en 1900 = 45 $.

Statistique de Leadville en 1900 :

	Onz ou tonnes.	Évaluation.	Pour 23 ans.
Or.	137 396	12 851 146	31 351 140
Argent.	7 547 969	4 650 318	174 650 318
Plomb	32 669	2 704 576	54 704 576
Cuivre	1 425	445 286	6 745 236
Manganèse	47 000	141 000	3 391 000
Bismuth	22 635	1 867 425	376 743
Divers		240 900	515 900
	$	12 900 651	275 125 651

Production annuelle moyenne des placers de Californie, prise pendant 23 ans = 12 000 000 $.

Nombre d'hommes employés en 1901 = 6 440, mines exploitées 63 = fonderies et usines = 11.

Évaluation, par tonne : En 1897 = $ 16,18 ; 1898 = $ 15,47 ; 1899 = $ 19,35 ; 1900 = $ 15,77.

Échantillons de charbons et asphaltes de Californie, nombreuses mines de fer, hématites, limonites, magnétites, manganèses, stibnites, cinabres, bismuth, borax.

Du Colorado : galènes argent et aurifères ; cuivre natif en planches de Cripple Creek district ; barres d'or et d'argent.

En Californie, le prince Poniatowski a installé de puissantes forces motrices hydrauliques qu'il transporte par l'électricité à 300 *km* de distance et avec câbles en aluminium.

(1) Grâce à M. Max Fassy et aux princes de Broglie, qui venaient de faire des études très intéressantes dans la Californie, j'ai pu obtenir des données et échantillons relatifs à ce pays.

État de New-York et Minnesota, New-Jersey

Échantillons de fluorite, quartz, bornite, chalcopyrite, chalcocite, graphite, améthyste, serpentines, hydrocarbures, vivianite, marbres, ardoises. Minerais de zinc concentrés par le procédé magnétique de Wetherel (Frankling). Minerais de fer concentrés par le procédé magnétique d'Edison à New-Jersey et en Pensylvanie.

Briquettes contenant 70 0/0 de fer, faites avec les produits de ce procédé.

Autres minerais de fer concentrés par le procédé C.-M. Ball, de « Hibernia Mine ».

Minerais de cuivre concentrés par le procédé de Somerville, N.-J.

Échantillons d'asphalte, lampes de mines, pétrole.

Mines de fer de Minnesota, mouvement des transports, anthracites de Lehu Valley, briques, granites, mines de fer d'une teneur variable entre 63 et 68 0/0 de fer mét.

Produits des forces électriques de Niagara falls : aluminium, pyrographite, oxyde.

Graphites obtenus de l'anthracite, silicon, silica, graphite, scudomorphe, alumine carbide (produit jaune doré obtenu par mélange d'alumine et charbon), graphite en tranches, graphites obtenus du pétrole, blocs spongieux de silicon carbidé, carborundum; barres et plaques de graphite très brillant obtenu en mélangeant à 6 000 Farhenheit dans un four électrique du charbon amorphe et une certaine quantité d'oxyde de fer; platine.

Nombreux échantillons de fontes au bois et au coke et de combustibles.

Échantillon de fonte des hauts fourneaux du Niagara. — Fontes au coke de Iroquois.

Marbres, calcaires, granites. Autres mines de fer : sidérites (carbonates de fer).

Maryland.

Marbres, charbons. Produits obtenus par la distillation des charbons (sulfate d'ammoniaque, carbures, prussiates).

Michigan.

Échantillons de minerais et produits cuivreux de Calumet Hecla (lingots, tuyaux, grosses plaques de cuivre). Produits de lavage des mines de cuivre natif; les titres sont : grosses grenailles = 95 0/0, divers autres produits des gigs = 93, 85, 75, 68 et 60 0/0, des tables à secousses: 35 et 30 0/0, les rejets ont 1/10 0/0.

Mines de fer de Marquette (Ashland) : fer = 64,80; Ph. = 0,044; Si = 1,30; Mn = 0,50; Volat = 4,50.

Autres analyses venant entre 52, 44 et 63,80 0/0.

Nombreux échantillons de cuivre natif, de fer et de fonte.

Mexique.

Exposition assez brillante, sous tous les rapports : édifice soigné de bon style, et accessoires (on avait amené un détachement de cavalerie mexicaine) bien réussis.

Les principales mines d'or, d'argent et de cuivre étaient représentées par de riches échantillons.

Celles de cuivre étaient : Compagnie de Buena Vista Monteray, de San Luis de Potosi, « Aguas Calientes « (bournonites), de Boleo (cuivre natif, carbonates en blocs), Santa Rosalia, Bajà California, de Moclezume, de « San Carlos » et San José Tamaulipas (nombreuses variétés de pyrites et oxydes).

Celles d'argent : « Nuevo Leon », « Sonora », « Durazno Venancio », « Blanco Anjel », Sultipal de « Aguas Calientes », « Alta Sonora », de Panucco (Mazatham), Toluca, « Compagnie Real del Monte y Pachuca Hidalgo », « Garcia Trinidad », « Guanajuato », « Sinaloa »; or, argent et cuivre de Mazopal, Concecion de Oro (Zacatecas).

Celles d'or : (avec argent) de « Progreso » et « Triunfo » (Baja California), etc., etc.

On y voyait également : blendes argentifères, soufre natif de Durango, plomb et zinc de la « Fraternal » (Nuevo Leon); anthracites et coke naturel de la « Dura Niming and Nithings Hermosillo (Sonora); onyx blancs laiteux; marbres divers, minerais de fer.

Santo Domingo.

Quelques minerais d'or, d'argent et cuivre.

Très beaux et variés minerais de fer.

Charbon de Samoa, de qualité médiocre.

Ile de Cuba.

Exposition remarquable à tous les points de vue : bâtiments élégants, comité actif, grandes variétés des produits de l'île, nombreuses attractions pour amener les visiteurs (excellente bande de musique amenée de Cuba), etc. En dehors de nombreux spécimens indiquant des industries avancées (modèles des installations des Arts et Métiers, etc.) et d'échantillons de bois remarquables ; nous y trouvons :

Charbons et anthracites, roches d'asphalte (86 0/0) des mines « Florinda » et « Constancia », etc. ;

Minerais de manganèse de « Baños de los Negros », d'une mine de fer et de cuivre « La Casilda », à Campo Florido (province de la Havane), de la composition suivante : eau = 3,300, fer = 44,500 ; cuiv. = 10,700 ; silic. = 31,500 ; ind. = 10 ;

Minerais de cuivre de « Isabel » et « Gibara » (carbonate et oxyde de cuivre, pyrites) ; éponges variées ;

Très beaux échantillons de minerais de fer, en gros blocs : hématites et magnétites.

Les minerais de fer de « Magdalena », Darquire, donnent : fer mét. = 67,2 ; sil. = 1,2 ; Ph. = 0,021 ; S. = traces.

Ceux de Sole = 61,5 0/0 de fer, de « Magdalena » = 67,8, sulfures de fer en boules.

Ces minerais de fer sont envoyés aux États-Unis, en Pensylvanie.

Honduras.

Minerais et produits de traitement d'or et d'argent des mines Belonging (Dép. Olancho), quartzs aurifères.

Une mine (« Bullion ») en 1900 a produit : argent, 1 205 475 onces, de valeur : $ 747 996,62 et or = 95 748,62 (San Juanito).

Minerais de cuivre et planches de cuivre aurifère de Eureka, onyx avec pétrifications, charbon du Dép. de Yoro, bitumes, opales, salpêtres de « Granas Talgua », aluns de Santa-Barbara.

Minerais de fer (magnétites) de « Agalteca » et « Santa-Barbara » qu'on n'exploite pas encore.

Puerto Rico.

Minerais de cuivre (carbonates et cuivre natif), de cuivre et argent de « Capron », « Elena », « Eugenia ».

Minerais de fer magnétique de 66,1, 68,9 et 71 0/0 de fer de « Polonia », « Merceditas », etc., qu'on n'exploite pas encore.

Dans toute cette île, on peut créer de puissantes forces hydrauliques, surtout à Rio-Grande (3 chutes de 80 pieds de haut).

Nicaragua, Centre Amérique.

Quartzs aurifères; charbon peu exploité; minerais de cuivre, mercure, plomb.

Graphites; marbres, pierres précieuses.

Brésil.

Les collections minéralogiques du Brésil, réunies et présentées par M. Alcides Medrado sont très variées.

Ce sont surtout les minerais d'or qui y sont les mieux représentés : or natif dans quartz et mispickel, traité à Morrovelho par le procédé Chalmers et accessoirement par amalgamation et cyanuration, ainsi que pyrites aurifères. Certains quartzs blancs avec mouches de pyrites aurifères sont traités par le broyage, grillage chlorurant, amalgamation, et rendent ainsi jusqu'à 15 *g* d'or par tonne. A « Ouro Preto » des mispickels aurifères donnent jusqu'à 80 *g* d'or par tonne. Des pyroxènes et aurifères de la mine « Roque Soares » donnent de 40 à 45 *g* d'or par tonne. On y voit aussi des gros blocs de talcose de la mine « Floriobella » d'une teneur de 10 à 12 *g* d'or par tonne et des sables aurifères de placers qu'on lave à la bate à « Quebra Queixo » ; quelques-uns ont donné jusqu'à 6 *g* par mètre cube de sable.

Nous citerons parmi les autres minéraux : conglomérats diamantifères de « Minas Geraes », quartz et tourmalines cloisonnées, améthystes, barytes aurifères, cinabre, crocardes (Vanadium) topazes, calcites, belles plaques de mica, monozite, cérium et thorium (poudre jaune de Bahia servant à faire les becs Auer), satellites du diamant, cyanites, graphites, talc, malachite de Bahia et d'Ouro Preto; pyrites de fer variés; bauxites rouges avec rognons noirs.

Les minerais de manganèse sont bien représentés; ce sont des oxydes de manganèse de 54 0/0 de Mn. sans phosphore qu'on expédie en Angleterre, France, Belgique, Allemagne. L'unité correspondait alors à 1 sh. par tonne. Ce minerai est chargé à la station de « Miguel Burnier » et est dirigé sur Rio-Janeiro (503 *km*)

avec un fret de 1 000 reis par tonne et de Rio en Europe avec un fret de 14 à 16 sh. la tonne. Ces minerais se trouvent dans de puissantes couches et filons. Les gisements de manganèse, de pyrolusite pure, sont à : S. Gonçalo, à Piquiry (56 0/0), à Ferreira. On trouve de la pyrolusite cristallisée à la mine « Rodeio », en géodes brillantes à Geraes (508 *km* par chemin de fer central).

Les minerais de fer sont nombreux et de titres élevés, depuis les limonites de Botafogo jusqu'aux hématites de 65 0/0 de « Miguel Burnier » en couches et filons, donnant aussi du fer spéculaire très pur.

On a commencé à s'occuper de l'installation de la sidérurgie au charbon de bois au Brésil.

On calcule par tonne de minerai de fer : extraction = 1 000 reis (alors 18 000 reis = 1 £), conduite au four = 3 000 reis, à l'usine « Esperanza », près du chemin de fer central du Brésil, où on ne fait guère que de la fonte. La tonne de charbon de bois au pied du four revient à 14 000 reis, la force hydraulique est située à 3 *km*.

Une Compagnie Maurovel fait actuellement une transmission de force par l'électricité près du rio « Peixe » sur une distance de 36 *km*. Échantillons de fontes en lingots, d'hématites rouges et de mines d'oligiste (fer mét. = 65,31 0/0, acide phosph. = 0,05); stabérite : fer = 69,08 0/0, ac. phosph. = 0,03.

Je crois les mines du Brésil appelées à un grand avenir.

Chili.

C'est certainement la section chilienne qui a été une des plus intéressantes à l'Exposition de Buffalo et a appelé le plus l'attention, surtout pour ses exhibitions relatives aux mines et à la métallurgie : quelquefois le nombre des visiteurs à ce pavillon dépassait 60 000, chiffre très fort en rapport avec le terme moyen du nombre total de ces visiteurs. Le pavillon, d'un style sobre et très approprié à son but, contenait toutes les espèces minéralogiques destinées à faire connaître pratiquement les ressources minières et métallurgiques du pays ainsi que leurs diverses productions, et de nombreuses vues photographiques et cartes géologiques aidaient à faciliter leur étude. J'aurai l'honneur prochainement de remettre à la Société des Ingénieurs Civils les nombreuses publications relatives à cette section de l'Exposition,

faites sous l'habile direction de M. Henry Budge, le président du Comité chilien de cette Exposition (1).

Je crois inutile d'insister ici sur la grande importance minière et métallurgique du Chili, qui a été l'objet d'une conférence spéciale ici même il y a peu de temps (2) et je ne ferai que retracer rapidement le résumé de ses exhibitions à Buffalo :

Échantillons de quartz et pyrites aurifères de plusieurs centres miniers déjà décrits;

Nombreux minerais d'argent, de galènes et autres composés argentifères;

Toutes les variétés de minerais de cuivre et les divers produits de leur traitement métallurgique ainsi que des sulfates de cuivre naturels et produits dans des usines;

Modèles de diverses usines de traitement des minerais de cuivre ;

Toutes les espèces de salpêtres bruts et raffinés; reproduction complète à assez grande échelle d'une usine de la province de Tarapaca pour l'élaboration du salpêtre ;

Charbons des régions du sud du Chili, leurs descriptions et statistiques de Lota;

Cartes géologiques des régions des lignites;

Soufre natif, boracites, aluns, sel gemme, sels divers naturels;

Produits industriels obtenus au Chili avec ces dernières substances;

Minerais de mercure, nickel, cobalt et autres métaux, plâtres, marbres;

Gros blocs et toutes les espèces les plus variées de minerais de fer et de manganèse et de tous les produits accessoires (fondants, substances réfractaires) pouvant servir à la réalisation de la sidérurgie au Chili ; briques, ciments, chaux.

La richesse exceptionnelle des minerais de fer et de manganèse et la description complète de leurs gisements dans des opuscules mis à la disposition du public ont beaucoup appelé l'attention des métallurgistes américains (3).

(1) Tous les membres chiliens de ce Comité ont fait les efforts les plus louables pour aider au grand et mérité succès de la Section Chilienne de l'Exposition de Buffalo.

(2) Bulletin de septembre 1901, page 535.

(3) On ne saurait trop appeler l'attention des métallurgistes français sur l'importance que peut avoir la sidérurgie au Chili.

Il convient aussi d'appeler l'attention sur l'opportunité de l'installation au Chili même d'une usine électrométallurgique, comme celle de *Dives*, par exemple, en France, pour y traiter sur place ses cuivres bruts, les raffiner et en faire des tubes, fils plaques, etc., etc.

Ce qui a également mérité l'attention des savants a été l'exposition d'une pétrification humaine trouvée, il y a peu de temps, dans une ancienne mine de cuivre abandonnée du district de Chuquicamata, près Calama, au nord du Chili.

Cette véritable pétrification, produite par l'imprégnation naturelle d'oxychlorure de cuivre (atacamite) qui constituait la roche ambiante, est bien différente de toutes les momies connues jusqu'à ce jour et est l'unique au monde; du reste son propriétaire, M. Torrès, pense venir l'exhiber prochainement en Europe. Ce corps, admirablement conservé dans ses moindres détails et sans l'apparence racornie ou desséchée des momies, est celui d'un Indien ou plutôt d'une Indienne travaillant dans la mine et ensevelie par un éboulement du minerai d'acatamite. Aux côtés du mort on a trouvé des restes de paniers, de divers marteaux en pierre, d'outils en bois taillé, de sacs de cuirs, etc., indiquant que cet individu exhibé a vécu avant l'arrivée des Espagnols dans cette région.

Enfin, de nombreux spécimens de machines, appareils et outils, explosifs, etc., employés dans les mines et usines montrent jusqu'à quel degré de perfectionnement est arrivée l'industrie du pays et indiquent aussi les innovations qu'on peut encore y introduire.

Bolivie.

Échantillons de minerais d'or, d'argent, cuivre, étain, bismuth, antimoine.

Or : en 1899 la production de l'or a été de 546 *kg* d'une valeur de 273 000 boliviens.

Argent : Échantillons de Colquechaca; très beaux spécimens des minerais d'argent de tétraédrite et cochizo de la mine célèbre de Huanchaca, qui ont d'autant plus d'importance que ce sont les mêmes minerais qu'on vient de retrouver très à l'ouest de cette mine et lui assurent une nouvelle ère de prospérité. Les blendes argentifères exposées indiquent la nécessité de trouver un nouveau traitement métallurgique avantageux pour ces blendes.

En 1899, la production de l'argent a été de 310 500 *kg* d'une valeur de 13 660 000 piastres boliviennes.

Cuivre : Échantillons des mines de Corocoro qui, en 1898, ont produit 3 032 *t*.

En 1898, la production du cuivre en Bolivie a été de : 73000 *q* espagnols de 50 *kg* d'une valeur de 730000 boliviens.

Étain : minerais de « Llalagua » (oxydes d'étain), sulfures et oxydes d'étain de Tasna, de Chacaya.

Barres d'étain dont l'analyse est : Étain = 95 0/0; antimoine = 3; plomb = 1; cuivre = 0,5; argent = 0,05; fer, aucune trace autour.

En 1899, la production a été de : 114119 *q* de 50 *kg* d'une valeur de : 5730950 boliviens.

Bismuth : En 1899, la production a été de 10000 *q* espagnols de 50 *kg* d'une valeur de 950000 boliviens.

Échantillons de borax et boracites.

Disons, en passant (ce qui peut intéresser beaucoup d'industries) qu'en Bolivie, en 1898, la production du caoutchouc a été de : 3155955 *kg* d'une valeur de : 13556395 boliviens (a augmenté cette année de 6351260 boliviens).

Pérou.

Charbons et anthracites de Chascas, Huau (département de Ancachas); amphibole de Yucay (Cuzco); gypses de Huacho, minerais de nickel de Santa Anna (Cuzco); minerais d'or de Inca Mining C° (Santo Domingo).

Argent : Natif de Carabaya (département Duno) dans quartz, donnant 800 piastres par tonne; de pyrites et tétraédrite du département de Ancacha; pyrargyrite sphalérite de Cailloma (département d'Arequipa); argent natif de Yauli (département de Junin) et de Mollendo; sphalérite (ZnS) et tétraédrite ($4Cu^2S\,Sb^2S^3$) de Huamachuco et Libertad; plombs argentifères de Casapalca; galènes argent et rhodochrosite de San Pedro (Mollendo).

Cuivre : Mines de cuivre et plomb de Junin; mattes de cuivre argentifères de Carapalca (Cuivre = 46,3 0/0; argent = 27,8 0/0 à la tonne); riches chalcopyrites du Cuzco; tétraédrites et azurites de Cerro de Pasco; chalcocites de Yanacona; minerais de fer (hématites de Parnuro (Cuzco) et de Cañas.

République Argentine.

Dans ce vaste pays (area = 2960000 Sqk et de 5000000 d'habitants) l'importance minière disparaît devant l'importance agricole et de l'élevage du bétail, et, sur les 1250000 étrangers qui

résident dans le pays, peu s'occupent des mines; néanmoins certaines régions offrent un intérêt sérieux, tant pour le cuivre, or, argent que pour les boracites et autres substances minérales.

La collection présentée est assez pauvre, mais on y remarque encore quelques beaux spécimens, comme :

Minerais de plomb et argent de San Juan et Cordoba et minéraux de cuivre.

Tétraédrites et limonites de Mendoza et Rioja; cuprite et chrysocale de San Juan; stibnite de Catamarca; minerais d'argent de Concordia (près Salta); quartz aurifères de Catamarca; marbres de Cordoba; onyx de San Luis; stibuïte de Catamarca; wolframite de Cordoba; soufre de Ulluta (San Juan); pyrites de Iglesias (San Luis); fluorite de Cordoba; Arsénio-pyrites de San Juan: holotrichite (alun de fer) de Catamarca; calcite de Cordoba: belles magnétites de Calamuchita (Cordoba); hématites de San Juan; sidérites, manganèses de San Luis; charbons de Neuquen, de San Juan, San Roque, San Rafael (Mendoza), lignites de Bahia Slogget.

Salvador.

Échantillons de minerais d'or de Cabañas (15 *g* à la tonne), de Matapan (mines de fer de San Juan avec or, argent, cuivre), quartz avec sulfures et chlorures d'argent et or natif; pyrites de cuivre et fer, blendes et galènes argentifères.

Mines de la Union, or et argent : à Santa Rosa usine de traitement; mines de cuivre de Chalatenongo et de manganèse; mines de Morazan, or et argent (départements de Moraza et Union): mines de fer de San Fernando et San Juan.

La section spéciale d'électricité de l'Exposition de Buffalo ne contenait rien de nouveau, mais la Compagnie Générale Électrique avait exposé de magnifiques spécimens, entre autres un grand anneau d'acier en nickel du poids de 33 200 livres, de 12 pieds de diamètre et d'une épaisseur de 6 pouces, destiné au « Niagara Falls ».

Au point de vue financier, les résultats n'ont guère été satisfaisants et il paraît que les pertes atteignent 3 millions et demi de dollars.

L'entrée, pendant les six mois, a été de 8 millions et demi de visiteurs.

Espérons que la prochaine Exposition qu'on prépare aux États-Unis (1), à ce point de vue, aura plus de succès, mais cette dernière aura eu le mérite de réunir dans un même groupe les diverses régions de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud.

Notes de voyage au Canada.

Montréal.

De Buffalo à Montréal chemin de fer par Toronto en 14 h. 45 m.

Lachine-Rapide à 4 *km* de la ville de Montréal.

Le fleuve Saint-Laurent barré sur une largeur de 2 milles et demi. La largeur de l'eau retenue = 1 000 pieds; profondeur de 18 pieds atteignant 23 pieds. Au-dessous du barrage, grande prolongation d'une digue pour empêcher la glace de revenir contre la sortie de l'eau des turbines. Jetée brise-glace = 2 milles et demi; production de 10 000 *ch* de force servant à l'éclairage de Montréal, usines, tramways, moulins avec transport par l'électricité par câbles (22) d'un demi-pouce d'épaisseur, marchant à 4 500 et 5 000 volts et 99 ampères par machine.

Dans un bâtiment de 1 000 pieds de long et 45 pieds de large il y a 50 turbines noyées en deux rangées avec arbres et roues coniques pour commander les dynamos. On y rencontre :

10 régulateurs Lombard, 2 Thestilwill-Burn et Smith voile Dayton, 8 grandes dynamos de 1 200 *ch* chacune. Ces dynamos sont à triple phase alternative, 6 excitateurs de 150 ampères et 150 volts. Cette installation a coûté près de 3 millions de dollars et va être augmentée; installation remarquable au point de vue de la difficulté créée en hiver par les glaçons.

Usine de hauts fourneaux au charbon de bois de Radnor (Canada iron furnace).

A quelques kilomètres de la station de Trois-Rivières (13 000 habitants), sur la ligne ferrée de Montréal à Québec, très ancienne usine où le premier haut fourneau fut allumé par ordre de Mme de Pompadour. C'ést depuis 50 ans qu'est constituée la nouvelle Société actuelle qui y exploite aussi des eaux minérales qu'elle rend artificiellement gazeuses par l'acide carbonique fabriqué.

(1) A Saint-Louis.

Les minerais de fer employés sont pour la plupart des *limonites* provenant des marais ou extraits d'étangs à la drague ainsi que des magnétites achetées et provenant de Québec.

Les *limonites*, exploitées l'été, reviennent, au pied du four, à 2,50 *f* la tonne et les magnétites à 4 et 5 dollars. Ces minerais de fer, mélangés avec de la castine, sont fondus dans un haut fourneau en briques à chemise d'acier de 46 pieds de haut et des diam. suivants : en bas = 5 pieds; au ventre = 9 pieds; en haut = 6 pieds; à la partie inférieure à 3 pieds commence un Water Jack et avec cinq tuyères à circulation d'eau; pression vraie 7,75 *kg*.

Par 24 heures on charge 70 *t* de minerais effectifs avec 12 0/0 de pierre à chaux.

On calcule 2 *t* à 2,50 *t* du mélange pour 1 *t* de fonte. Par 24 heures on produit 30 *t* de fonte, en quatre saignées, d'une qualité entièrement exceptionnelle, envoyée en Europe (Autriche, etc.), et servant surtout pour les bandages de roues de locomotives. Elle vaut environ trois fois la fonte ordinaire et est à grains très fins (le n° 6 est le plus dur). On calcule environ 1 *t* de charbon de bois par tonne de fonte.

Le bois servant à la fabrication du charbon de bois est mesuré par *corde* qui correspond à une mesure de 8 pieds × 4 pieds × 4 pieds ou 128 pieds cubes et on en consomme 40 000 *cordes* par an.

Les droits à l'exploitation des forêts sont vendus à l'encan à raison de 20 à 30 dollars le mille carré, une location annuelle de 3 dollars par mille carré et en outre un droit de 1,35 dollar par 1 000 pieds carrés superficiels de 1 pied pour la coupe. Le rendement des forêts par mille carré (640 arpents par are) varie entre 20 et 40 *cordes*.

Ces bois, coupés et apportés en hiver par des traîneaux spéciaux *(sligh)* traînés par chevaux, sont en bûches d'environ 4 pieds et de diamètre atteignant 0,30 *m*. Ce sont les espèces les plus variées : érable, mérisier, hêtre; on refuse les bois blancs, le sapin et le cèdre. On paye aux bûcherons 75 cents la corde de *128 pouces* pour l'abatage et, pour les conduire à l'usine, de 50 cents à 1,5 dollar la corde.

Fabrication du charbon de bois. — Le charbon de bois est fabriqué en partie à Radnor (14 fours ou kilns), à grandes piles (14), à 20 milles de Radnor, à Pierre-Paul (6) à 18 milles, à Sainte-

Thèle (6) à 23 milles, à Lac-au-Sable (8) à 30 milles. — *Fours ou kilns de Radnor :* on amène le bois à la plate-forme supérieure des fours sur un plan incliné par des tombereaux chargeant une demi corde chacun. Chaque four, ayant la forme d'un tronc de cône recouvert d'une calotte sphérique de 13 pieds de haut pour 30 pieds de diamètre en bas et 28 en haut, charge 60 cordes de bois et les gaz s'en vont par des ouvreaux inférieurs; on ne recueille pas les produits de la distillation. La calcination dure de cinq à six jours; on ferme tout et, au bout de huit à dix jours de refroidissement, on défourne le charbon, brillant et assez friable. On retire des 60 cordes de bois de 2000 à 2500 *minots* de 20 livres anglaises chacun. Ce charbon revient ainsi à près de 10 dollars la tonne : on ne recueille pas les produits de la distillation du bois.

Accessoires : récupération de la chaleur pour chauffage des machines à vapeur. La castine vaut 4 dollars la toise (12 *t*); on exploite cette castine dans une carrière de calcaire, située dans l'usine même.

La température de l'air envoyé dans le four est élevée à 900° Fahrenheit. Les tuyères sont en cuivre.

Les poussières et limonites boueuses (avec coquillages) sont moulées en briquettes cylindriques de 0,1 *m* de diamètre pour 0,08 *m* de haut.

La limonite rouge est la meilleure ; les autres sont noires, jaunes, brunes.

Les gaz du haut fourneau servent en partie à chauffer le vent et en partie à chauffer 4 bouilleurs.

Le ventilateur est de Weinier. Machines à casser, à faire briquettes, etc.

On emploie en tout, pour exploiter les minerais et les bois et l'usine, 600 hommes dont 100 pour l'usine. Les salaires varient entre 1 $ et 1 $ 50 par jour.

Dans la province de Anterio à Deseroton, on distille des bois pour produire du charbon de bois et recueillir les produits de la distillation (alcool, acide acétique, goudrons).

Une usine distille 60 cordes par jour. On met 30 cordes dans 40 cornues en fer de 4 pouces de diamètre pour 9 pouces de long pendant 14 heures, opération exigeant 10 hommes gagnant chacun 1 $ 50 par jour. Le combustible est fourni par les détritus de charbon non vendables.

Comme annexes, il y a 17 fours en briques de 40 cordes exi-

geant 18 hommes pour les charger chaque jour chacun. *Chaque corde produit 820 livres de charbon de bois.* La dépense d'installation est d'environ 2 000 dollars pour chaque corde consommée journellement et dans le cas présent elle monte à 120 000 $.

Au Canada, on s'occupe actuellement de l'exploitation du nickel et de l'amiante. Le pays est assez pauvre à cause des grands froids d'hiver. Les habitants, anciens Normands, sont de bons mineurs, d'une grande moralité et s'expatrient beaucoup aux États-Unis et surtout près du lac Supérieur.

Nord-Est des États-Unis

État de Michigan

Usine de hauts fourneaux au charbon de bois de Manistique. Sault-Sainte-Marie. — Fours électriques.

De Montréal à Manistique, par North Bay, Sault-Sainte-Marie (frontière du Canada), il y a 27 heures de chemin de fer : magnifiques trains. Sleeping-car et Pullmann, pour le trajet, ne coûtent de supplément que 3 $ (15 francs), au lieu que de Paris à Toulon (14 heures) on paye de supplément 50 fr. 10 c. ! Magnifiques travaux à Sault-Sainte-Marie : communications du lac Supérieur avec le lac Michigan. A Sault-Sainte-Marie, M. Clerque installe des fours électriques pour le nickel.

On va installer à Newaygo (grand rapide de Michigan) un four électrique pour fonte des minerais de cuivre : ce four électrique, de Francis E. Hatch, a fonctionné en petit à Green Bay, où, à une température de 2 200° Fahrenheit, avec 100 *ch* de force, dans un four à garnissage de briques, il fondait 10 *t* de minerais de cuivre, de plomb et de zinc par 24 heures, avec électrodes durant 3 jours (1).

Usine de Manistique. — Haut fourneau au charbon de bois de 60 pieds de haut et diam. : bas = 6 ; haut = 7 ; voit. = 12 à 6 tuyères et vent chauffé à 950° Fahrenheit et pression d'air de 7 livres par pouce carré, avec récupération de chaleur en brûlant les gaz sous les chaudières. Ce haut fourneau dure : 3 ans pour la partie inférieure et 7 pour la supérieure. On fait 4 saignées par 24 heures d'environ 25 *t* de fonte chacune, en passant

(1) Je communique ces données sous toutes réserves, et, d'après mon expérience, crois que la force motrice indiquée est plus de cinq fois trop faible.

170 *t* de minerais effectifs, mélangés avec 7 à 9 0/0 de castine, exploitée à peu de distance de l'usine. La production atteint jusqu'à 125 *t* d'excellente fonte par 24 heures. On consomme 1 *t* de charbon de bois pour 2 1/4 *t* de minerais mélangés et 1 700 livres de charbon pour 2 240 livres de fonte. Les minerais de fer employés sont des magnétites de 60 0/0 et des minerais schisteux provenant du lac Supérieur de 36 à 55 0/0 et revenant à 3 dollars la tonne mise à l'usine.

Fabrication du charbon de bois. — Les bois employés sont surtout l'érable et le merisier (bons pour l'alcool) (on évite l'épinette, bonne pour faire la pâte à papier); on paye 75 cents pour l'abatage d'une corde de bois et 50 cents pour charger et décharger. Comme on abat ces bois sans laisser de taillis et que les terrains sont très sablonneux, on crée ainsi un véritable désert dans ces régions et il est à craindre qu'ainsi cela exerce bientôt une fâcheuse influence sur la végétation du pays,

Le bois vaut 2 dollars et demi la corde.

Pour la production du charbon de bois on emploie : 60 fours ou kilns (pareils à ceux de Radnor) qui font 90 fournées par mois, chargeant chaque kilns 65 cordes de bois et 10 cornues de distillation. Les gaz des kilns sont conduits par des carneaux en bois de sapin rouge dans un appareil de condensation à pluie d'eau, laissant écouler le goudron, et l'eau saturée des produits volatils est envoyée dans des appareils de rectification pour en recueillir l'alcool concentré à 90° et l'acide acétique sur de la chaux pour faire de l'acétate de chaux; les gaz excédants servent à chauffer des chaudières. Les gaz et produits volatils des cornues sont traités à peu près de la même manière. Les kilns ne donnent que 3 gallons d'alcool à 90° par corde de bois, tandis que les cornues donnent jusqu'à 10 gallons de cet alcool. Le charbon de bois revient environ à 6 dollars la tonne. (Le gallon d'alcool se vend 0$,80.) On n'emploie pas de force hydraulique dans cette usine et on n'y fait pas de briquettes. L'éclairage est fait à l'électricité au prix de 0$,50 par mois par lampe électrique.

Dans le voisinage existent d'autres kilns faisant du charbon de bois sans recueillir les produits de la distillation.

Usine de haut fourneau au charbon de bois de Gladstone et distillation des bois.

Gladstone est une petite ville assez remarquable à beaucoup

de points de vue, située sur une rive du lac Michigan et l'usine est située à 3 kilomètres de cette ville : c'est la fonderie Claif, Eq. C°.

Haut fourneau de 60 pieds de hauteur pour 12 pieds de diamètre au ventre et 6 pieds inférieur. ; 6 tuyères ; water-jacket en 14 secteurs sur deux rangs ; air chauffé à 1 200° Fahrenheit par deux grands réchauffeurs ; 5 chaudières ; 2 machines soufflantes verticales dont une en marche : cylindre vertical H = 2,50 ; D = 1,80 ; nombre de tours = 40 tours par minute ; pression de l'air : 6 à 10 livres par pouce carré ; soupapes multiples au ventilateur ; pompes nombreuses ; machines à casser les minerais de fer ; double monte-charge vertical avec deux chariots à deux roues ; charbon monté dans un seul grand wagon. En quatre saignées on produit de 100 à 140 *t* de bonne fonte par 24 heures.

Les minerais de fer amenés par un très beau quai dans de grandes cases spéciales sont des oxydes noirs plus ou moins quartzeux, des hématites micacées et des ocres jaunes. Ils viennent surtout du lac Supérieur.

Fabrication du charbon de bois. — Il existe 50 kilns contenant chacun 50 cordes de bois, on en sort 48 charges de 60 minots. Ces kilns sont recouverts d'une forte couche de chaux pour les préserver de la pluie. Mais ce sont surtout les dix cornues de distillation qui sont intéressantes et on va encore augmenter le nombre de ces cornues, sur les résultats desquels on cherche à garder certaine discrétion, et qui méritent d'être signalées.

Chacune de ces dix cornues cylindriques est en tôle, de 3/4 de pied intérieurement et a les dimensions suivantes : H = 8 pieds ; longueur = 30 pieds ; largeur = 4 pieds et demi. Deux rails sont sur la partie inférieure pour faire entrer les cages chargées chacune de 5 cordes de bois. On chauffe pendant 24 heures avec du poussier de charbon de bois dont la combustion est activée par un ventilateur. On brûle 1 600 livres de poussier par 24 heures, chiffre qu'on peut réduire à 900 livres. Les gaz qui s'échappent des cornues sont amenés dans des condensateurs cylindriques de 8 pieds de haut et 3 pieds et demi de diamètre. Le goudron et les liquides condensés s'écoulent en bas par un siphon et les gaz continuent en haut. Le goudron recueilli est brûlé, l'alcool rectifié et l'acide acétique transformé en acétate de chaux. Une corde de bois donne 10 gallons d'alcool à 90° (en 24 heures,

50 gallons avec 10 *retortas*). Avec 50 cordes de bois on fait 5 500 livres d'acétate de chaux. Pour les 10 cornues il y a en tout 13 hommes employés, 4 pour la distillation et 4 pour les chaudières. Le bois employé ne doit pas avoir plus de 6 pouces de diamètre.

A la sortie des cornues, le charbon de bois est refroidi dans de longs couloirs (4) en tôle de Struthers et Cie, d'une longueur de 68 pieds; hauteur = 8 pieds; largeur = 6 pieds. Le charbon refroidi est pris par un élévateur (monte-charge hydraulique) qui le monte dans un grand entonnoir le répartissant dans les chariots.

Généralement, dans ces usines métallurgiques, la fabrication du charbon de bois, distillation, etc., sont données par contrat à des entrepreneurs spéciaux qui, tous, paraît-il, y réalisent de très grands profits.

Docks de Escanaba (sur une rive du lac Michigan).

Ces docks remarquables servent surtout à débarquer le charbon qui vient en grande partie de Pensylvanie et à charger les minerais de fer provenant surtout du lac Supérieur et de Minomine. Il est difficile de se faire une idée du spectacle grandiose que présente cet ensemble de quais immenses, de machines les plus perfectionnées et d'engins permettant les manœuvres les plus compliquées d'une façon aussi simple que rapide. Ces quais ont déjà coûté 5 millions de dollars et j'ai pu les visiter dans leurs moindres détails, guidé par le Directeur et l'Ingénieur en chef des docks, ainsi qu'examiner les nouvelles et grandioses constructions auxquelles on travaille en ce moment.

Pour le déchargement du charbon, tout se fait automatiquement : Le charbon, à bord du bateau, est chargé dans des bennes, et de là, enlevées par un câble, les bennes roulent sur deux séries de trois grands ponts roulants ayant chacun sa machine à vapeur, sont renversées par un cran d'arrêt, rétablies automatiquement dans leur position naturelle et ramenées par une chaîne sans fin au point de chargement. On débarque ainsi facilement 2 400 *t* de charbon par jour au prix de 19 cents la tonne. On vient encore de perfectionner les divers engins.

Il y a quatre grands quais spéciaux pour charger les minerais de fer et de chaque côté de ces quais sont les caisses recevant le minerai et les tubes l'amenant aux navires.

Les minerais de fer sont amenés au-dessus des caisses sur

chemins de fer dans des wagons contenant chacun de 25 à 30 *t* de minerais, qu'on verse dans les caisses en fort madriers pouvant contenir chacune 125 *t*. En ouvrant, à l'aide d'une transmission, une trappe inférieure, on fait couler le minerai dans des tubes en fer à joues qui viennent aboutir aux navires, et on relève ces tubes articulés au moyen d'un treuil une fois la case vidée. Il y a en fonction 1 000 de ces tubes, et on en augmente le nombre chaque jour. On embarque ainsi facilement 42 530 *t* par jour au minimum, et il y a des années pendant lesquelles (en sept mois de travail) on a embarqué jusqu'à 4 millions de tonnes de minerais de fer, dont 1 million pour Chicago. On a fait un record d'embarquer en une heure 3 254 *t* avec 27 tubes! La plus grande partie des minerais de fer est envoyée au lac Erié (moins 1 million à Chicago), et des navires atteignant 8 000 *t* emportent ces minerais à Chicago en 27 heures, au prix de 40 cents la tonne et au lac Erié en 50 heures à 60 cents la tonne. Généralement, aux États-Unis, chose importante à noter, les chemins de fer transportent les minerais de fer sur une distance de 40 à 80 milles au prix ferme de 40 cents la tonne.

Mines de fer d'Ishpeming (près du lac Supérieur).

C'est certainement aux États-Unis, cette région de Ishpeming, Negaunea et Marquette, la plus riche en minerais de fer. En venant du lac Michigan vers le lac Supérieur, on rencontre, à partir de Negaunea, des affleurements de filons ocreux et noirâtres sur la crête des monticules, et de nombreux blocs d'oxyde de fer noirâtres répandus sur le sol, lequel devient de plus en plus montagneux.

Dans la ville-même d'Ishpeming, se trouvent les principales mines (appartenant à la même Compagnie de l'usine de Gladstone) et à quelques kilomètres sont les autres mines.

Les principales mines de fer en actuelle exploitation sont :

La « Cliffs Stapt » donnant par jour 500 tonnes de minerais de fer d'un titre de 62 0/0 de fer, filons de 40 à 60 pouces de grosseur.

La « Lake Mine », donnant par jour 1 800 *t* de minerais de fer d'un titre de 65 0/0; ce sont des amas.

La « Moro Mine », donnant par jour 300 *t* de minerais de fer d'un titre de 62 0/0, filons de 15 pouces.

La « Salisbury Mine », donnant par jour 300 *t* de minerais de fer d'un titre de 62 0/0, ce sont des amas.

La « Michiganne Mine », donnant par jour 125 *t* de minerais de fer d'un titre de 60 0/0, filons de 8 à 10 pouces.

Dans la mine « *Cliffs Stapt* » se rencontrent deux filons se croisant en certaines régions, on a même trouvé jusqu'à trois filons. Les niveaux sont à 55 pouces de distance, et la profondeur actuelle verticale est de 510 pieds. Souvent, comme j'ai eu l'occasion de le voir dans la mine, on rencontre d'énormes poches de minerais assez riches. Dans la partie la plus profonde de la mine, apparaissent la sidérite et ensuite le jaspe. Cette mine est travaillée depuis plus de vingt ans, et la puissance du filon a quelquefois atteint 60 pieds.

Les gangues sont quartzeuses et des marnes grisâtres servent d'appui aux filons.

Généralement la profondeur des trous de mine est de 3 pouces et est réduite à 1 1/4 dans les roches très dures. La dynamite employée est à 45 à 50 0/0 de nitroglycérine. L'eau est enlevée par une pompe de Corwal. Les morceaux de minerais sont cassés dans deux grandes machines Blak, et transportés aux quais de chargement dans des wagons en bois doublés de tôle.

Cette mine emploie 335 hommes, qui travaillent généralement à la tâche : un ouvrier se fait de 2 $ à 2 $ 1/2 par jour, et en moyenne un ouvrier abat 3 tonnes de minerais par jour. On boise peu dans cette mine, et, pour le boisement, on emploie le pin rouge (Norway).

Tout marche par perforatrices Rand drill de Chicago.

Les minerais sont généralement des hématites, très peu de magnétites de titres de 60 à 65 0/0.

Le minerai très inférieur est vendu dans les usines 2 $ 3/4. Transport et embarquement = 1 $ 40.

On compte comme prix de rendement pour un chariot de 2 *t* et demie dans la mine :

Abatage = 80 cents; conduction au bas du puits = 39 cents.

On a fait communiquer deux de ces galeries à 60 pieds vert. par un dépilage complet et sans boiser.

Dans la partie la plus profonde, on trouve du carbonate de chaux.

On emploie, pour reconnaissances, des perforatrices à diamant noir en tous sens jusqu'à 1 500 pieds.

Lake Mine. — Cette mine, par un puits incliné, exploite les minerais de fer situés au-dessous d'un assez grand lac qu'on a dû assécher, et on doit dépenser une énorme quantité de bois pour soutenir les parois très ébouleuses des chantiers; ces bois sont descendus par un puits auxiliaire; à 150 pieds de profondeur, on commence à trouver le minerai et on a dû traverser des épaisseurs de 40 pieds de boue. Il faut enlever l'eau par des fortes pompes qui l'amènent dans un très long canal pour la jeter dans la rivière; pour cela, on paye un droit à la « Cleveland. On divise le minerai en deux classes : hématites noires avec specula, les plus riches de 65 0/0 Fer et Ph. = 0,4, et un oxyde noir écailleux, mêlé de boue, d'un titre de 60 0/0 et Ph. = 0,7. Sous terre service des chariots par électricité. Le jaspe occupe le milieu et sur les deux bords deux bandes de 100 pieds de large d'un amas irrégulier. On travaille à la dynamite dont la caisse de 50 livres est vendue 10 $ aux mineurs.

Compagnie voisine du lac Angélique. — On n'y travaille que depuis douze ans et avec quelques bons résultats.

Mine *Salsbury.* — Niveau à 50 pieds. Puits incliné dans la diorite grise à une profondeur de 919 pieds vert.

Dans la partie la plus profonde, la meilleure, le filon a 35 pieds de puissance; souvent roche mêlée de jaspe.

Dans ce district minier, il y avait 8 000 mineurs il y a deux ans (dernier recensement fait) mais depuis lors, leur nombre a beaucoup augmenté.

Houghton (Lac Supérieur).

Mines de cuivre de Calumet Hecla.

Houghton, ville minière importante, sur le bord du lac Supérieur où on trouve beaucoup de mineurs canadiens. Centre de banque, Bourse où on agiote beaucoup sur valeurs de mines. C'est surtout à Calumet-Hecla que cette ville doit son importance, et ce groupe de mines, en actions, appartient surtout à quelques personnes dont les principales sont Agassi (Suisse) et Shaw (Américain). On compte 40 000 habitants dans cette région. La renommée du cuivre natif du lac Supérieur remonte à longtemps.

Le plus gros bloc de cuivre natif trouvé au lac Supérieur

pesait 420 *t*, et j'ai eu l'occasion de causer avec un vieillard, M. John Sentn qui a vu ce bloc et réside au lac depuis 1846, Autour de la ville d'Houghton et près du lac (Dollar Bay, etc.), existent de nombreuses usines de fonte et de concentration de minerais, ces dernières surtout méritant d'attirer l'attention.

Une usine de « Dollar Bay » a une succursale à Houghton : les planches de cuivre natif, morceaux, grenailles (mélangées avec des gangues surtout calcaires) sont apportés dans des barils (titre environ 65 0/0 à 95 0/0), et sont fondus aux fours à réverbère et coulés en barres et galettes pour être étirés.

Cette petite usine avait 4 demi-hauts fourneaux à Water Jacket arrêtés, et fondait aux réverbères des minerais de « Atlantic » et « Baltic Mines ». Dans un four à réverbère, on passe par 24 heures 15 *t* de ces mines de cuivre natif et les scories de 15 0/0 sont envoyées à l'usine de « Dollar Bay ». Une charge dure 24 heures. Pour 15 *t* de minerai, on brûle 8 *t* de charbon de Pensylvanie qui coûte 3 $ la tonne. On traite le minerai pour le compte du mineur, auquel on livre le cuivre, en percevant les frais de transport et une redevance de 11 $ par tonne de minerais. Le cuivre de 99 1/2 0/0 sert pour laitons. Le cuivre, raffiné de nouveau est coulé dans des moules en cuivre, est mis dans des barils contenant chacun 1 250 livres de ce cuivre et auparavant soumis à des épreuves dans les petits appareils « Riehlebrostisting ».

Usine de fonte de Quency. — Quatre grands fours à réverbère en marche : on ajoute au minerai de cuivre natif du carbonate de chaux. Le cuivre est coulé en longues barres et galettes et les scories envoyées à « Dollar Bay ».

Usine de Dollar Bay. — Les briquettes sont confectionnées avec les menus mélangés avec 1 0/0 de farine et 0,1 à 0,3 0/0 de dextrine sous une pression de 40 *t*, Ces briquettes sont fondues avec des scories et calcaires dans un four à manche à Water Jacket d'une hauteur de 24 pieds et d'un diamètre de 48 pouces. Ce four fond par 24 heures 70 *t* du mélange de 100 de scories de 15 0/0 avec 10 0/0 de briquettes. On ajoute 22 0/0 de carbonate de chaux. On brûle 2 1/2 0/0 de coke et 20 0/0 d'anthracite.

On raffine le cuivre dans des fours à réverbère de 12 pieds $\times$ 18 pieds à insufflation d'air, et on fond aussi dans des fours à réverbère les riches mines de 60 0/0. Sur les carneaux des fours, on sèche les menus et on enlève 12 0/0 d'eau.

On fait 4 saignées par 24 heures donnant 90 000 livres cuivre pur. On brûle 700 livres de charbon par tonne moins de 60 0/0. Dans les parties les plus exposées au feu, les briques sont en magnésie de Bengystt (Pittsburg) coûtant 130 à 160 $ le mille. Une disposition curieuse permet de conserver le pont du four : l'air d'admission passe librement entre les briques du pont, les refroidit, en s'échauffant et par des ouvreaux vient sur la sole du réverbère.

Tous les ans, on arrête le four pendant 4 à 5 jours. La coulée (chaque barre pèse de 175 à 200 livres) se fait d'une façon parfaite aussi en petits lingots raffinés de 99,95 0/0 de 16 à 22 livres dans des moules accouplés par 4 sur 37 rangées.

Tréfilerie. — Comme annexes à cette fonderie, existent : une tréfilerie et des batteries de laminoirs pour tôles de cuivre.

Par mois, on fait de 600 à 650 000 livres de fils de cuivre : le plus gros est le 3/8 et le plus fin n° 22. Les n°s 12 et 14 sont les plus employés pour l'électricité.

Pour faire ces fils, on les lamine à chaud jusqu'à 3/8 de pouce, puis étirés, chauffés, plongé dans des cuves avec de l'eau acidulée par acide sulfurique deux ou trois fois successivement, ils sont étirés de nouveau. etc. Il y a jusqu'à 7 réchauffages. Les laminoirs marchent deux fois par semaine (6 trains de laminoirs) faisant 90.000 livres en 10 heures.

Quant aux gros laminoirs pour planches de cuivre (3 batteries à chaud, 3 à froid, jusqu'à 34), ils sont abandonnés depuis deux ans d'après une convention avec un trust qui a le monopole de ce laminage.

Production. — La production du groupe de Calumet Hecla seul est d'environ 45 000 *t* par an, un peu plus pour tous les autres groupes c'est-à-dire 100 000 *t* par an pour cette région en tout.

Circonstance minéralogique notable. — Tous les minerais de cuivre de cette région ne contiennent absolument, et quelle que soit la profondeur des mines, le cuivre qu'à l'état natif et, sauf quelques très rares petits échantillons, on n'y a trouvé aucune autre espèce de minerais.

Usines de lavage ou enrichissement de ces minerais de cuivre natif.

Le titre moyen ne dépasse guère de 1 1/4 à 1 3/4 0/0 de cuivre (moyenne 1 1/4).

Usine de Quency. — On se rend de Houghton à « Quency » soit par le lac, soit en traversant une forêt magnifique. Usine de lavage à trois étages successifs pouvant traiter 2 000 *t* de minerai par 24 heures.

De puissants moteurs à vapeur donnent le mouvement aux divers appareils, sans force motrice hydaulique.

A l'étage supérieur et au deuxième étage, on sépare à la main les blocs de cuivre natif du reste du minerai et on concasse ce minerai dans des machines à casser pour l'amener dans cinq énormes bocards (de vrais marteaux-pilons avec mouvement de rotation spéciale) ou *stamps* de Laevitt (de Boston), qui broient au minimum 400 *t* de minerai par 24 heures. La vapeur agit directement.

Au troïsième étage sont de nombreux cribles à ressorts en métal (fabriqués à Hougton) où sont lavées les grenailles, qui sont classées par tamisage des cribles et par entraînement d'eau.

Les fins et schlammes sont lavés sur de nouvelles tables (on a renoncé aux round bull, frue-vanners) qui donnent d'excellents résultats; ce sont des tables en bois recouvertes de toile striée arrosées par une pluie d'eau amenée par un long tuyau et ayant un léger mouvement oscillatoire horizontal.

La séparation des parties riches et pauvres se fait automatiquement. Chacune de ces tables nouvelles, employées partout aujourd'hui, a : 4 *m* de long environ pour 1,50 *m* de large.

Usine voisine. — Même disposition par étages et mêmes appareils : passe 1 350 *t* par 24 heures.

3 stamps, 72 cribles (Gigers) et 24 tables à secousse.

En tout 40 ouvriers : 20 de jour et 20 de nuit.

Les grenailles enrichies et boues riches sont mises dans des barils.

On retire avec du minerai de 1 1/4 0/0 en 24 heures 25 barils de 1 300 livres chacun de titre moyen de 77 0/0.

Usine de Calumet, 5 000 *t*.

Dans la région, en comptant la « Calumet », qui a la plus

grande usine, à laquelle elle envoie les minerais par un chemin de fer lui appartenant (6 milles de distance), il y a actuellement 15 usines de concentration avec 67 stamps.

Mines de Calumet-Hecla.

On se rend de Houghton, par Red Jacket, à Calumet par chemin de fer ou tramway électrique (une heure de tramway).

On passe devant les mines : Quency, Franckel, Boston, etc., et la distance est de 12 milles.

Le chemin de fer n'existe que depuis un an et le tramway depuis juin dernier.

On laisse sur le côté, près du lac, la plus ancienne mine « La Minesota », travaillée il y a cinquante ans.

La mine importante *Osceola* apparaît bientôt sur le trajet, près de « Laurium » et on traverse les trois villes voisines : Laurium, Calumet, Red Jacket. Ce sont des villes de grand trafic, élégantes et éclairées à l'électricité.

Mines principales de Calumet. — On remarque deux longues files de puits parallèles exploitant les couches qui ont une direction Est-Ouest avec inclinaison au Nord. La première ligne supérieure Ouest correspond aux conglomérats et la ligne Est aux amygdaloïdes inférieurs; un des puits inclinés a 5800 pieds. Dans un des grands puits de 4900 pieds on utilise (Withing Shaft) 4800 pieds pour le travail. Le puits vertical de 4800 pieds n'a eu pour but que de rencontrer en profondeur les conglomérats et d'essayer de se servir de ce puits pour l'exploitation de certaines galeries, en cas d'incendie ; cela a été une erreur, car, dans les derniers incendies, les gaz ont pénétré dans ce puits et l'ont rendu inutilisable. Ce puits a rencontré de bons conglomérats, entrecoupés par des grès rouges.

A un endroit, pour une exploitation de deux puits, on a une machine de 4500 *ch* et quatre grands compresseurs d'air.

Près du puits principal existe une machine à deux cylindres de la force de 6000 *ch* (élevant 10 *t* par voyage avec vitesse de 60 pieds à la seconde). *Chose curieuse :* ici on a supprimé le tambour pour les câbles et ce sont deux câbles se prolongeant horizontalement sur des molettes qui servent à l'exploitation.

En dehors de fortes pompes pour l'épuisement des eaux, on extrait l'eau dans d'énormes bennes.

On constate jusqu'à cinquante niveaux dans la mine à des distances de 30 *m*, et on a cubé du minerai, dit-on, pour quarante ans dans les veines de quartz à travers les roches grises. La formation par voie humide a été étudiée par Rivot en 1856 et 1859.

Dans les trois diverses régions on trouve : dans les amygdaloïdes du minerai de cuivre de 1 0/0 et dans les conglomérats le titre atteint jusqu'à 3 0/0. Accidentellement, on trouve dans les minerais de cuivre de l'argent natif mêlé au cuivre, mais sans importance industrielle.

Il faut une quantité énorme de bois pour cette mine : 13 000 000 de pieds cubes de pin blanc par an.

Au point de vue géologique, on se trouve dans le terrain Laurentian et les gneiss.

L'oxyde de fer se trouve entre les couches d'origine plutonique ; la diorite est métamorphosée en serpentine et l'oxyde de fer même provient de la métamorphose de la sidérite.

Le capital engagé est de 2 500 000 $ et jusqu'ici la mine a donné 53 millions de dollars de dividendes. Les actions, émises à 25 $ (100 000 actions), valaient (en août) 725 $ et donnent 60 $ de dividende.

La moyenne des salaires des ouvriers est de 50 $ par mois.

Grands hôpitaux, écoles, bibliothèques, appartenant aux mines.

Enfin, signalons à Houghton un magnifique collège de mines sous la direction de M. Pégot et d'illustres professeurs comme M. Konig et payons un devoir de gratitude au maire d'Houghton, M. Croze (Canadien français de naissance), qui a bien voulu me diriger dans toute cette excursion.

De Houghton, séjour à Chicago : nombreuses usines métallurgiques à fer, et passé à Détroit.

État de New-York.

Niagara Falls.

Les chutes du Niagara ont été décrites si souvent qu'il est inutile de reproduire ici ce qui est très connu et je ne dirai que quelques mots sur leur importance au point de vue de forces motrices hydrauliques.

Une création de force motrice de 22 000 *ch* a d'abord été faite,

profitant d'une chute verticale de près de 85 *m* et sert surtout aujourd'hui à des fabriques de papier à la pâte de bois; cinq énormes tubes descendent l'eau aux turbines.

La plus belle installation, la plus récente, permet de développer une force motrice de 50 000 *ch* et est surtout remarquable par les immenses travaux d'aménagement des eaux et par le grand tunnel qu'on a dû faire pour l'écoulement des eaux à leur sortie des turbines.

Le nom de cette installation est: « The Niagara Falls Power ».

Par des tuyaux de 3,50 *m* de diamètre, l'eau est amenée à 10 turbines correspondant à 10 dynamos d'une force de 5 000 *ch* chacun à arbre vertical, marchant à 2 000 volts.

Il y a en outre 2 petits dynamos pour excès de force, excitateurs, transformateurs, etc.

56 câbles d'acier de 6 *cm* de diamètre et 10 faisceaux de petits câbles de 1 *cm* transportent l'électricité.

On s'occupe en ce moment de nouvelles installations de forces hydrauliques et de leur transport par l'électricité, car les actuelles sont insuffisantes pour tous les tramways électriques, éclairages, fabriques de papier et surtout pour les nombreuses usines de fours électriques qu'on rencontre déjà entre Niagara Falls et Buffalo, pour : fabrication du carbure de calcium, de graphites, alliages de métaux, carbures divers et carborundum.

Je dirai quelques mots de la fabrique de *carborundum* que j'ai pu visiter :

Le carborundum est un carbure de silicium cristallisant en belles aiguilles violettes et dont la poudre remplace avantageusement l'émeri pour faire d'excellentes meules.

On vend aussi les produits inférieurs de l'usine pour les aciéries.

Pour fabriquer ce produit, on broie un mélange par parties égales de bon coke et de sable de verrerie. Des meules verticales broient et malaxent ce mélange.

On étend le mélange sur une sole horizontale en briques réfractaires d'environ 8 de long sur 6 de large et on fait les parois verticales avec des briques mobiles.

Il y a 10 de ces fours dont 2 toujours en marche.

Avec 2 fours, on produit une moyenne de 8 à 10 *t* par 24 heures.

De chaque côté du four, on introduit 36 électrodes de 0,80 *m* de long et un long électrode traversant la masse. La tempéra-

ture est de 6 000 degrés Fahrenheit, 150 volts, 900 ampères, 1 000 *ch* force pour chaque four.

La durée d'une opération est de 36 heures. Les électrodes ne servent que pour une opération. L'usine dispose de 2 500 *ch* dont 2 000 pour les deux fours en marche et 500 pour autres opérations. On broie et malaxe ensuite le produit *trié* de ces fours avec du feldspath, on en moule des meules et autres objets (émeris, limes, etc.) qu'on fait sécher et cuire dans des fours spéciaux. Les objets fabriqués sont très demandés aux États-Unis et en Europe, où il s'est déjà formé (en Italie) des Sociétés pour exploiter ce procédé.

Pour le carbure de calcium on se préparait à former aux États-Unis un *trust* (avec projet de l'étendre à l'Europe) pour sa fabrication et vente, en vue de l'énorme baisse de ce produit, destiné à la fabrication de l'acétylène.

Usine de hauts fourneaux au coke et charbon de bois à Buffalo « Iron Buffalo Charcoal Furnace »

3 hauts fourneaux dont 2 au coke et 1 au charbon de bois.

Très beau débarquement de minerais par 4 ponts sur lesquels on élève mécaniquement les minerais des navires mouillant dans le lac Érié ; immenses aires en bois; cases ; minerais de fer du lac Supérieur, surtout de Marquette ; hématites rouges et brunes.

Fours à coke. — Un produit 250 *t* de fonte par 24 heures, l'autre 300 *t*.

Pour chaque four, il y a 5 grandes tours pour récupérer les gaz, 4 machines soufflantes, 4 pompes horizontales à air chaud à 1 300° Fahrenheit.

Haut fourneau au charbon de bois. — D = 12 pieds; en bas = 7; en haut = 9; hauteur = 65 pieds. On passe de 50 à 66 charges de la composition suivante : minerai = 3 700 livres ; charbon = 1 600 livres ; castine = 300 livres. On produit de 90 à 110 *t* par 24 heures ; température = 1000° ; monte-charge ; 6 tuyères ; au Water Jacket, 5 *petites ceintures* en bronze (mieux en cuivre). On saigne chaque 5 heures. Pression = 6 1/2 ; pompes à eau ; 3 tours pour récupérer les gaz.

Usine Électro-métallurgique de Perth Amboy Plant American Smelting and refining Cy, à Maurer (New-Jersey), à 1 heure en chemin de fer de New-York.

Cette usine est une des principales des 23 établissements métallurgiques (dont 20 en marche) que possèdent en Amérique MM. Gugenheim et Cie.

Cette usine dispose de 2 000 *ch* de force produits par 4 machines à vapeur et 2 grands dynamos (dont un fonctionnait) marchant à 150 volts et 4 500 ampères.

La production actuelle de cette usine est, par 24 heures :

Cuivre électrolytique	=	50 *t*
Argent	=	12 000 ozs
Or.	=	800 ozs
Plomb	=	250 *t*

On augmente encore les dimensions de cette usine qui bientôt pourra produire 100 *t* de cuivre par 24 heures et plus tard 150 *t*.

Un port voisin sur la rivière permet économiquement les chargements et déchargements.

Les minerais et les mattes viennent surtout du Mexique, de Colombie, de British Colombie et même de l'Amérique du Sud (Huanchaca).

Les menus de tous ces minerais, mêlés aux fumées recueillies, sont mélangés, malaxés et agglomérés automatiquement avec de la chaux par de puissantes machines.

Les charges sont fondues dans trois grands fours à manche rectangulaire à Water Jacket.

Le plus grand four est arrivé, avec 16 tuyères, à fondre par 24 heures 200 *t* de lits de charge.

Il existe un autre petit four circulaire à manche pour les alliages de plomb.

Le vent est donné par 2 grands ventilateurs Rooth et 2 compresseurs à cylindres horizontaux ; tout le vent est envoyé dans un grand réservoir distributeur.

Les mattes produites, assez pauvres en cuivre, contiennent 3 ozs d'or et 200 ozs d'argent.

Les menus et mattes pauvres broyées sont grillées dans 12 grands fours à réverbère ayant chacun 12 portes de travail de chaque côté. Chacun contient 12 *t* et le grillage dure 24 heures.

On refond ces mattes grillées pour matte blanche qu'on transforme par rôtissage et refonte en plaques de cuivre destinées à former les anodes de l'électrolyse.

Quant au plomb argentifère produit, on le soumet en grande partie au zingage et l'alliage est distillé dans des cornues en terre. On purifie le plomb argent dans des grandes cuves. Le gâteau argentifère est comprimé dans des appareils portés par un pont roulant pour faire couler le plomb excédant. On purifie le plomb tenant 1 0/0 de zinc dans des fours à réverbère. Enfin, le plomb argent est coupellé dans 8 fours de coupellation à sole mobile anglais, et l'argent, de même que les autres métaux, raffiné par une nouvelle refonte.

L'électrolyse est pratiquée dans 390 cuves tenant chacune 27 anodes. On recueille pour la vente le sulfate de cuivre produit et on en isole et sépare l'or et l'argent précipités. Le cuivre produit est refondu aux réverbères et coulé en lingots longs et minces pour la fabrication des fils de cuivre et autres usages exigeant un cuivre très pur.

Il serait à désirer que nous puissions voir en France installer une usine de ce genre et de cette importance.

Production de Métaux aux États-Unis

Nous ne donnerons que quelques chiffres, donnant une idée de l'importance de la production des métaux aux États-Unis (données communiquées par M. Kirschoff).

Fonte. — Il y a deux ans, la production de la fonte dans le monde entier était d'environ 36 millions de tonnes, dont 12 millions produits par les États-Unis ; actuellement, cette production est de 15 millions de tonnes.

Cuivre. — On évalue à peu près la production en cuivre du monde entier à environ 450 000 *t* par an, desquelles 325 000 *t* sont produites par les États-Unis !

Pendant les six premiers mois de cette année, les États-Unis ont exporté en Europe 38 000 *t* de cuivre et le double pendant la même période précédente ; c'est cette diminution qui explique en partie la récente baisse du prix du cuivre.

CONCLUSIONS

Je regrette, dans ce travail si incomplet, qui n'a d'autre prétention qu'être un simple récit d'un rapide voyage, de n'avoir pas pu donner une idée plus exacte de l'importance industrielle, minière et métallurgique de ce pays, si grandiose à tant de points de vue, mais je crois qu'il convient aux intérêts français de bien le connaître et surtout de suivre de près ses gigantesques entreprises.

On est frappé aux États-Unis du peu de rapports et de relations qui existent entre les ingénieurs et industriels de ces pays avec ceux d'Europe et il serait facile d'augmenter les liens qui doivent unir les travailleurs de tous les pays du monde entier. Pour bien étudier les États-Unis à ce point de vue et pour connaître leurs ouvrages, il faut bien posséder la langue anglaise et je me demande pourquoi, dans nos Écoles d'ingénieurs, on n'exige pas la connaissance de cette langue, surtout aujourd'hui que tant de nos Collègues pourraient trouver des situations avantageuses dans ces pays !

Au point de vue général des progrès de notre industrie, ne pourrait-on pas, avec l'appui financier de notre Gouvernement et d'autres ressources, créer des subsides spéciaux qui permettent chaque année, à leur sortie des Écoles, à un certain nombre d'ingénieurs d'aller étudier pendant quelques mois aux États-Unis et faire profiter ainsi notre cher pays de leurs études et acquérir eux-mêmes des connaissances vastes et pratiques?

Déjà des expériences isolées ont montré les brillants résultats des connaissances de ce qui se passe à l'étranger, sans que cela enlève en rien les mérites de nos savants français dont les études ont servi de base à tant d'industries nouvelles.

CHRONIQUE

N° 263.

SOMMAIRE. — Les chemins de fer vicinaux en Belgique. — Utilisation de l'énergie solaire. — La houille en Chine. — Énergie contenue dans le combustible brûlé dans le monde entier. — Influence de la température sur la résistance de l'acier. — Tunnel du Simplon. — Production par électrolyse de l'oxygène et de l'hydrogène.

Les chemins de fer vicinaux en Belgique. — M. J. Vierendeel a publié, dans le Bulletin de *l'Union des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Louvain*, une intéressante notice intitulée : « Quelques mots sur les chemins de fer vicinaux en Belgique », notice dans laquelle il se propose de répondre à la question suivante : « Quelle recette brute une ligne vicinale doit-elle réaliser pour compenser les sacrifices pécuniaires souscrits par les pouvoirs publics ? » L'auteur estime qu'il suffit de montrer les avantages que procure une ligne vicinale et les comparer aux charges assumées par les pouvoirs publics intéressés pour donner à la question la réponse qu'elle comporte. Mais, pour éviter tout malentendu sur le sens qu'il faut donner au mot « avantages », M. Vierendeel croit devoir développer d'abord quelque peu sa manière de voir sur la question.

Beaucoup de personnes se figurent que la caractéristique de l'utilité d'un chemin de fer est le bénéfice réalisé sur l'exploitation. C'est une erreur. Le bénéfice peut ne pas être en rapport direct avec l'utilité d'une ligne, c'est-à-dire qu'une ligne donnant de faibles dividendes et même des pertes peut, au point de vue de l'intérêt général, être d'une utilité plus grande qu'une autre qui donne des dividendes très rémunérateurs à ses actionnaires.

L'auteur estime que la prospérité publique se lie intimement à toutes les satisfactions intellectuelles, physiques et morales de la population : que le touriste qui visite les sites célèbres, l'habitant qu'attirent les plaisirs de la ville, y trouvent des satisfactions qui développent le goût, engendrent des idées qui souvent sont la source de nouveaux progrès. Si la faculté de satisfaire ses désirs est la manifestation de la richesse, il est de fait que donner satisfaction à ces appétits ne peut être considéré comme un appauvrissement, car, à ce compte, il faudrait supprimer toutes les industries, toutes les sources de production qui ont le luxe pour objet et considérer comme nuisibles à l'intérêt général toutes les dépenses non absolument indispensables à l'existence humaine. Au fond il n'y a pas consommation de richesse, mais simple déplacement.

Les avantages que procure un chemin de fer se divisent en avantages directs, c'est-à-dire ceux que l'on peut évaluer et qui sont les économies réalisées sur les transports des personnes et des marchandises, les bénéfices de la Société d'exploitation, des pouvoirs publics, etc., et les avantages indirects, c'est-à-dire ceux que l'on ne peut pas évaluer, mais que l'on pressent, que l'on voit et qui ne sont pas toujours les moins importants.

M. de Burlet, directeur général de la Société nationale des Chemins de fer vicinaux, et M. Colson, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées de France, Conseiller d'État, ont fait au Congrès des Chemins de fer, à Paris, en 1900, un exposé très intéressant de l'influence dés chemins de fer économiques sur la richesse publique. On peut signaler parmi les avantages indirects y énoncés, les suivants :

1° La plus-value donnée aux propriétés immobilières;

2° La faculté d'installer des industries dans des contrées autrement inaccessibles;

3° Le développement du commerce, de l'industrie et de l'agriculture. par les moyens de transports rapides et économiques;

4° L'amélioration des cultures, une plus grande productivité du sol, la création de nouveaux débouchés, la mise en valeur de certains produits industriels et agricoles, le développement de l'instruction, la transformation des mœurs, etc., etc.

M. Vierendeel a été amené, comme application de ces principes, à faire le relevé détaillé des transports effectués sur trois lignes de la province de Limbourg en 1895 et, pour établir l'économie réalisée par le public sur le transport des marchandises, il a évalué le coût de chaque transport avant la construction du chemin de fer vicinal et après. Pour les voyageurs, il a comparé le tarif par malle-poste avec celui du vicinal. Quant aux bénéfices réalisés par la Société d'exploitation, il en a tenu compte quand il a pu se les procurer.

Nous nous bornerons à citer le premier des trois exemples, qui est le plus complet, c'est celui de la ligne de Bourg-Leopold-Maeseyck.

Cette ligne, d'une longueur de 41 *km*, est à l'écartement de 1 *m* et dessert les localités suivantes :

Bourg-Leopold (3 258 habitants), Hechtel (1 343), Wijchmael (608), Peer (2 285), Grand-Brogel (712), Petit-Brogel (333), Ellicum (217), Meeuwen (1 145), Reppel (308), Gerdingen (593), Wyshagen (270), Brée (2 906), Oppiter (530), Tongerloo (671), Gruitrode (865), Neeroeteren (2 021) et Maeseyck (4 567).

Le capital de 1 250 000 *f* a été presque complètement dépensé et a exigé la souscription d'une annuité de 43 750 *f*.

1° Les avantages directs sont :

a) Bénéfice réalisé sur le transport des marchandises . .	26 682 *f*
b) Bénéfice réalisé par les voyageurs	65 403
c) Bénéfice réalisé par la Société d'exploitation	22 330
d) Bénéfice réalisé par les pouvoirs publics (dividende distribué aux pouvoirs publics, actionnaires, etc.)	18 629
e) Bénéfice réalisé par l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes, par suite de la suppression des malles-postes	7 040
f) Bénéfice réalisé par les chemins de fer à grande section (on n'a pu avoir aucun renseignement suffisant) . . .	?
Total *à reporter*	140 084 *f*

Report	140 084 *f*
A déduire les charges des pouvoirs publics, actionnaires.	43 750
Bénéfice net	96 334 *f*

2° Avantages indirects :

a) Ce capital de 1 250 000 *f* dépensé dans le pays a procuré du travail à de nombreux ouvriers et provoque la fourniture de beaucoup de produits industriels. Ceci atténue déjà dans une certaine mesure les charges qui incombent à la généralité;

b) Les traitements et salaires contribuent à la prospérité du pays en assurant l'existence de nombreuses familles. Cette somme atteint 41 288 *f*;

c) Plus-value donnée aux propriétés. Cette plus-value s'est surtout manifestée lors de la vente des bois et l'on est d'accord pour l'estimer à 200 *f* l'hectare. Mais pour éviter toute discussion, on ne prendra que 100 *f* et on ne l'appliquera qu'à la moitié des sapinières existantes. Cela donne 148 100 *f*.

d) Établissement à Reppel d'une fabrique de métal blanc et d'une fabrique d'arsenic; à défaut d'un chemin de fer vicinal, ces fabriques ne se seraient jamais établies à Reppel;

e) Développement donné au commerce et à l'industrie de cette contrée; les habitants reconnaissent que les moyens dont ils disposaient précédemment étaient insuffisants pour réaliser le trafic du vicinal. Ainsi les malles-postes existant en service en 1885 n'auraient jamais pu transporter annuellement les 150 000 personnes voyageant par le vicinal.

La consommation des engrais chimiques a considérablement augmenté à Peer depuis que le transport a pu se faire économiquement de Brée (canal) à Peer.

Les abonnements scolaires et les abonnements délivrés témoignent également de certains avantages procurés.

Si on ne prend que les avantages directs, qu'on peut considérer comme une recette, on voit qu'il suffit, dans le cas actuel, de multiplier la recette brute, qui est de 104 991 *f*, par 0,9 pour avoir l'importance des avantages directs.

M. Vierendeel fait le même calcul pour les deux ou trois lignes, celle de Saint-Trond-Orege, de 17 *km*, et celle de Glons à la frontière, dans la direction de Maestricht, de 17 *km* également, et il trouve que, pour la première, la recette brute doit être multipliée par 1,39 et, pour la seconde, par 0,9 pour avoir l'importance des avantages directs.

L'auteur croit devoir faire remarquer que les trois lignes en question ne sont pas à grand trafic; elles traversent un pays qui n'est ni très peuplé ni très riche par son agriculture ou par son industrie.

En appliquant les coefficients trouvés plus haut, et en prenant diverses recettes brutes et divers prix kilométriques d'établissement, M. Vierendeel est arrivé aux résultats donnés dans le tableau ci-joint.

RECETTE KILOMÉTRIQUE probable	COUT KILOMÉTRIQUE	FRAIS ET CHARGES		TOTAL DES CHARGES	RECETTE		RECETTE TOTALE	AVANTAGES	
		d'exploitation	annuités		brute	avantages directs		positifs	négatifs
1 000	30 000	1 800	1 050	2 850	1 000	900	1 900	»	950
1 000	40 000	1 800	1 400	3 200	1 000	900	1 900	»	1 300
1 000	50 000	1 800	1 750	3 550	1 000	900	1 900	»	1 650
1 500	30 000	1 800	1 050	2 850	1 500	1 350	2 850	»	»
1 500	40 000	1 800	1 400	3 200	1 500	1 350	2 850	»	350
1 500	50 000	1 800	1 750	3 550	1 500	1 350	2 850	»	700
1 800	30 000	1 800	1 050	2 850	1 800	1 620	3 420	570	»
1 800	40 000	1 800	1 400	3 200	1 800	1 620	3 420	220	»
1 800	50 000	1 800	1 750	3 550	1 800	1 620	3 420	»	130
1 800	60 000	1 800	2 100	3 900	1 800	1 620	3 420	»	480
2 000	30 000	1 800	1 050	2 850	2 000	1 800	3 800	950	»
2 000	40 000	1 800	1 700	3 200	2 000	1 800	3 800	600	»
2 000	50 000	1 800	1 750	3 550	2 000	1 800	3 800	250	»
2 000	60 000	1 800	2 100	3 900	2 000	1 800	3 800	»	100
2 500	40 000	1 800	1 400	3 200	2 500	2 250	4 750	1 550	»
2 500	50 000	1 800	1 750	3 550	2 500	2 250	4 750	1 200	»
2 500	60 000	1 800	2 100	3 900	2 500	2 250	4 750	850	»
2 500	70 000	1 800	2 450	4 250	2 500	2 250	4 750	500	»

Ce tableau est assez clair pour ne pas exiger d'autres explications; le coût d'exploitation peut, à la rigueur, donner lieu à discussion; mais on voit qu'une majoration assez sensible de cette dépense influe fort peu sur la conclusion qui s'impose et qu'une ligne donnant une recette kilométrique de 20 00 *f* procure assez d'avantages directs pour que sa construction se trouve justifiée. Or les lignes à recettes si faibles sont très rares et, sur les 95 en exploitation en Belgique, il n'y en a que trois dans ce cas. Les pouvoirs publics ne doivent donc pas craindre d'intervenir dans la formation du capital de construction des lignes vicinales et ils font œuvre de bonne administration en dotant les communes de moyens de transport rapides et économiques.

Nous trouvons, à la fin de la note de M. Vierendeel, une liste des lignes formant le réseau de la Société anonyme des Chemins de fer vicinaux, à la fin de 1900. Voici la récapitulation :

I. — Lignes concédées :		
a) En exploitation	90 lignes de	1 840,02 *km*
b) En construction.	21 —	436,37
c) A construire prochainement	8 —	107,62
Total.	119 —	2 384,01 *km*
II. — Lignes dont la concession est demandée.	28 lignes de	410,00 *km*
III. — Lignes dont la prise en considération est accordée définitivement :		
a) Avec souscription de l'État	23 —	546,90
b) Dont la souscription de l'État n'est pas encore fixée	25 —	294,90
IV. — Lignes dont la prise en considération est accordée provisoirement.	31 —	771,10
V. — Lignes dont la prise en considération est demandée	7 —	153,70
Total général . . .	233 lignes de	4 560,61 *km*

Utilisation de l'énergie solaire. — Nous avons parlé, dans la Chronique de septembre 1901, page 587, d'un moteur solaire essayé aux États-Unis. Comme cette question présente un grand intérêt, nous croyons utile de résumer ici un remarquable article de notre éminent collègue, le professeur R. H. Thurston, article paru récemment dans le *Cassier's Magazine*.

Les savants et les industriels se préoccupent actuellement de la question suivante : Quand atteindrons-nous la période critique où les gisements de combustibles seront épuisés, et comment ferons-nous pour les remplacer ?

S'il n'y a pas absolument péril en la demeure, on peut, cependant, prévoir comme assez prochain l'événement que nous venons de signaler et, déjà bien avant, la rareté du combustible amènera de graves perturbations dans notre système social. Le professeur Leslie, alors qu'il était géologue de l'État de Pensylvanie, et feu M. Eckley B. Cox, s'accordaient pour indiquer le terme d'une centaine d'années pour l'épuisement des houillères de cet État et pensaient que la fin du xx[e] siècle verrait la disparition, dans la contrée, des industries vivant grâce au combustible à bon marché et à la proximité des mines.

En Angleterre, la situation est encore bien plus grave, parce que les gisements de combustibles sont moins étendus et, dans plusieurs localités, ils manifestent déjà des symptômes d'épuisement. Il en est de même sur le continent européen, en France et en Allemagne notamment.

Heureusement il y a dans d'autres parties du globe, en Chine par exemple, d'énormes dépôts de charbon, à peine entamés jusqu'ici, mais ils s'épuiseront aussi à leur tour et il viendra finalement une époque où le monde civilisé, qui embrassera alors presque la totalité de la terre,

devra recourir à une autre sorte d'énergie que celle qui est empruntée à la combustion de la houille.

La puissance hydraulique, qui vient après le moteur thermique comme importance, rendra encore alors de réels services, tant que l'humanité existera sur le globe, mais on ne saurait compter sur elle pour remplacer la vapeur. On peut se rendre facilement compte de l'exactitude de cette assertion.

L'auteur explique, par quelques exemples, que si la puissance que représente la chute moyenne d'eau pendant l'année sur la terre se traduit par un nombre énorme de chevaux, on ne peut en recueillir pratiquement qu'une très faible partie, parce que la production de la puissance exige non seulement un volume d'eau, mais encore une différence de niveau ou chute. Certains bassins, d'une grande étendue, ne présentent qu'une faible proportion des éléments permettant d'établir cette chute.

Il est certain, néanmoins, que plus tard on devra recourir, autant que possible, à la puissance hydraulique, et que l'industrie arrivera à se grouper autour des chutes d'eau, dans les rayons correspondant à la transmission électrique par courants à haute tension, On en a déjà des exemples au Niagara et à Buffalo. Les chutes du Niagara sont susceptibles de fournir, si on les utilisait complètement, peut-être 4 à 5 millions de chevaux, et les rapides d'amont et d'aval de la chute un chiffre très important. Il ne faut pas se dissimuler, toutefois, qu'il y a un point noir dans l'avenir de la puissance hydraulique, c'est le déboisement qui fait des progrès continus, au grand détriment de la régularité du débit des cours d'eau.

La force du vent est aussi une source d'énergie, provenant, comme la précédente, de l'énergie solaire qui détermine des courants dans l'atmosphère; seulement cette force est encore plus variable que la force hydraulique et on ne peut compter sur elle pour un travail continu, sauf exceptions. Il faudrait pouvoir régulariser ou accumuler le travail du vent et, si on ne peut déclarer le problème irréalisable, on ne doit toutefois guère trop compter sur une solution efficace dans ce sens pour remplacer le charbon dans l'avenir.

La force des marées est une forme de l'énergie dont l'utilisation présente des difficultés spéciales. Elle possède une périodicité absolue, une régularité très suffisante, mais on n'a pas encore trouvé jusqu'ici de moyen pratique, efficace et économique de l'appliquer, sur une certaine échelle, aux besoins de l'industrie.

Ce n'est pas d'aujourd'hui qu'on a pensé à employer les rayons solaires, mais cette question a pris actuellement une réelle importance et attire l'attention des savants et des industriels.

Le célèbre Ingénieur John Ericsson, dans l'ouvrage considérable qu'il a écrit, en 1876, pour résumer les travaux de sa vie entière, consacre une partie importante du volume à l'exposé de ses recherches sur l'utilisation de l'énergie solaire et la quantité de travail qu'il est possible d'en retirer au moyen de machines spéciales. Ces appareils se composent, en principe, de réflecteurs coniques concentrant les rayons du soleil sur un foyer où se trouve placé un générateur de vapeur ou, d'une

manière plus générale, un récepteur élevant la température d'un fluide agissant dans un moteur thermique. Ericsson résume comme suit les résultats obtenus par lui dans ces essais : « Il a été constaté, par des expériences répétées, que l'appareil employé donne, pendant neuf heures par jour, pour les latitudes comprises entre l'équateur et 45°, une moyenne de 3,5 unités thermiques par minute, par pied carré de surface exposée perpendiculairement aux rayons solaires, ce qui fait, en mesures métriques, 9,5 calories par mètre carré et par heure. On peut donc obtenir une énergie correspondant à 0,9 *ch* par mètre carré ou 9 *ch* par 10 m^2 de surface exposée à la radiation solaire. On ne comptera, toutefois, que 1 *ch* par 10m^2 de surface exposée au soleil. Les districts qui ont à souffrir de l'excès de la chaleur du soleil sont nombreux sur la terre. Ainsi, il y a une zone où il ne pleut pour ainsi dire jamais et qui s'étend de la côte nord-ouest de l'Afrique à la Mongolie sur 10 000 *km* de longueur et 1 500 *km* de largeur, cette partie comprenant les côtes sud de la Méditerranée, la Haute-Égypte, la plus grande partie des côtes de la Mer Rouge, une partie de la Syrie, de la région arrosée par le Tigre et l'Euphrate, de l'Arabie, de la Perse, de la Chine et du Thibet, et enfin de la Mongolie.

» Dans l'autre hémisphère, on trouve les mêmes conditions dans la Basse-Californie, les hauts plateaux du Mexique et du Guatemala, la côte occidentale de l'Amérique du Sud, sur une longueur de près de 3 000 *km*; ces parties souffrent toutes d'une chaleur intense et continue.

» Si on calcule l'énergie solaire qui s'exerce en pure perte sur ces immenses étendues, on trouve des chiffres énormes. Si, par exemple, on prend une bande de terre de 1 500 *m* de largeur sur les bords de la Mer Rouge, sur la côte méridionale de la Méditerranée, sur les deux bords du Nil dans la Haute-Égypte, sur la côte ouest de l'Amérique du Sud, etc., formant une longueur collective de 12 000 *km*, on arrive à une superficie de 18 milliards de mètres carrés, soit 1 800 000 *ha*. En comptant, comme précédemment, 1 *ch* pour 10 m^2 ou 1 000 *ch* par hectare, on arrive au total effrayant de 1 800 millions de chevaux qu'on pourrait réaliser au moyen de 18 000 machines solaires de 100 *ch* fonctionnant neuf heures par jour.

» Le prochain épuisement des houillères européennes amènera un déplacement considérable dans la prééminence industrielle de divers pays, déplacement qui sera tout en faveur de ceux qui sont dans les meilleures conditions pour utiliser l'énergie solaire d'une manière à peu près continue.

» Ainsi, la Haute-Égypte est destinée à acquérir, dans les siècles qui suivront, une position politique considérable pour la raison qui vient d'être indiquée. Lorsque l'Europe devra arrêter ses usines faute de charbon, la Haute-Égypte invitera les manufacturiers dépossédés à lui apporter leurs métiers et à élever des deux côtés de la vallee du Nil des usines dont la force motrice sera empruntée à la chaleur du soleil, force motrice dont la puissance collective dépassera, de beaucoup, celle qui fait mouvoir actuellement la totalité des manufactures de l'Europe. »

Le professeur De Volson Wood, un des savants les plus versés de notre époque dans la thermodynamique, estime qu'on peut obtenir,

théoriquement, un cheval-vapeur par quatre pieds carrés de surface exposée au soleil, soit 2,7 *ch* par mètre carré, chiffre beaucoup plus élevé, naturellement, que celui qui a été donné plus haut, ce qui indique que les calculs d'Ericsson étaient très modérés. L'expérience faite à Pasadena, en Californie (voir Chronique de septembre 1901, page 587) a indiqué que les chiffres donnés par Ericsson peuvent être atteints en pratique.

Le défaut capital du moteur solaire est que, sauf dans des cas assez rares, on est loin de pouvoir compter toujours sur lui et, jusqu'ici, nous ne disposons pas de moyens pratiques d'accumuler des forces très considérables, pour suppléer à la disparition du soleil derrière les nuages, disparition qui peut durer des heures, des jours et, même dans certains pays (où, d'ailleurs, on ne songerait probablement pas à installer des moteurs solaires), des semaines. Il peut y avoir des localités où on pourrait utiliser des réservoirs naturels pour accumuler de la puissance, mais on ne saurait considérer cette solution que comme très exceptionnelle et somme toute, sauf dans les cas qui ont été indiqués plus haut, il est certain qu'une filature de coton, qui ne pourrait compter que sur le soleil pour faire tourner ses broches, ne donnerait vraisemblablement pas de forts dividendes.

La grosse objection à l'utilisation de la chaleur solaire est l'extrême variabilité de son action, car comme puissance elle est réellement effrayante. Le professeur Langley a calculé que, si tout le charbon contenu dans les houillères de Pensylvanie pouvait brûler pendant une seule seconde, il ne développerait pas, par sa combustion, la millième partie de la chaleur qu'émet le soleil pendant le même temps. Il n'en est pas moins vrai que ces richesses houillères valent beaucoup plus pour nos besoins industriels que toute la chaleur dégagée par le soleil.

Le professeur Thurston conclut que :

La destruction rapide et toujours croissante de nos approvisionnements de combustible minéral nous amènera, plus ou moins vite, au moment où nous devrons compter sur une autre source de puissance pour les besoins de l'industrie. La période actuelle pourra durer encore quelques générations, mais cependant on voit déjà, dans certains pays, des symptômes de cet épuisement.

Si le genre humain ne trouve pas quelque moyen de remplacer le charbon pour la production de la puissance, l'industrie manufacturière sera menacée d'être obligée d'abandonner les régions actuellement civilisées pour aller s'établir dans les pays tropicaux sous peine de cesser d'exister.

S'il est exact qu'une bande de terrain s'étendant sur 30° de chaque côté de l'équateur peut suffire aux besoins industriels d'une population de 10 milliards d'hommes, c'est-à-dire près de dix fois la population actuelle du globe, on peut prévoir que, si on ne trouve pas d'autre source de puissance, ces régions deviendront la partie civilisée de la terre.

Les autres sources de force motrice sont le vent et les chutes d'eau. La première est plus largement répandue que la seconde, mais elle est trop inconstante pour répondre aux besoins généraux de l'industrie. Les chutes d'eau, surtout avec le concours de la transmission électrique de la force à distance, donnent une solution beaucoup plus large de la

question. Mais il est très douteux qu'elles puissent subvenir aux besoins des générations futures, même si, pour diverses raisons, le nombre des habitants du globe ne croissait, avec le temps, que dans des proportions très modérées.

L'action solaire peut fournir une immense quantité d'énergie par utilisation directe. Son emploi est pratique dans ce sens qu'il n'y a pas de difficultés de l'ordre mécanique qui s'opposent à l'installation et au fonctionnement d'appareils solaires. Mais elle est sujette à l'inconvénient de l'irrégularité et, si on cherchait à corriger cette irrégularité par l'usage de procédés d'accumulation, on arriverait à des frais d'établissement qui compenseraient probablement l'avantage de la gratuité de la marche des moteurs.

Il est certain que, dans les siècles futurs, quand les gisements de combustibles minéraux seront épuisés, on utilisera l'énergie solaire dans une mesure plus ou moins grande, mais la disparition du charbon ne sera pas la seule catastrophe qui menace notre industrie. Il est probable que, peut-être même avant, les minerais de fer, les dépôts de platine et bien d'autres auront disparu également, que l'industrie de l'avenir verra bien des obstacles s'opposer à son développement, sinon même à son existence, et qu'il y aura bien d'autres problèmes à résoudre que celui du remplacement des combustibles.

Mais, pour en revenir à la question que nous traitons ici, le problème se pose de la manière suivante :

Trouver le moyen d'utiliser l'énergie produite par le rayonnement direct du soleil pour développer la force avec un moteur thermique et un moyen d'emmagasiner l'excès de puissance développée pendant les périodes d'insolation, pour l'utiliser plus tard, pendant les périodes où le soleil de se montre pas. Il faut, bien entendu, que ce problème soit résolu dans des conditions qui permettent de fournir de la force motrice à l'industrie d'une manière pratique et suffisamment économique.

Nous ne saurions manquer de rappeler ici que la question des moteurs solaires est loin d'être nouvelle pour notre Société devant laquelle elle a été traitée, notamment, en 1870, dans la séance du 22 avril, au sujet des travaux de Mouchot, antérieurs, croyons-nous, à ceux d'Ericsson. Notre Collègue, M. Leygue, en rendant compte de ses travaux, indiquait qu'on pouvait espérer obtenir pratiquement 1 *ch* de 12 m^2 de surface exposée aux rayons du soleil, chiffre presque identique à celui donné plus haut, de 1 *ch* pour 11 m^2. Nous renvoyons, pour les détails, au procès-verbal de cette séance.

La houille en Chine. — Comme il a été question dans l'article précédent des ressources qu'on trouverait en Chine pour alimenter plus tard le monde de combustible, il nous paraît intéressant d'indiquer que M. N. F. Drake a présenté récemment à l'*American Institute of Mining Engineers* un mémoire sur la question, fort peu connue jusqu'ici, des gisements houillers en Chine. Voici les conclusions de ce travail :

Dans tous les gisements décrits, depuis le bassin de Kai-Ping, dans le Chi-Li oriental, jusqu'au bassin du Tse-Chou dans le sud-est du Shansi, la position de la couche la plus basse est sensiblement la même,

c'est-à-dire de 50 à 100 *m* au-dessus du calcaire carbonifère. On peut voir, dans chacun de ces gisements, une portion d'un très grand bassin, de sorte qu'on peut imaginer qu'à l'origine, il y avait un gisement continu ou une série de gisements très rapprochés les uns des autres, formés de dépôts végétaux ensevelis sous une épaisse couche de sédiments et, à une époque ultérieure, brisés et séparés par des mouvements de l'écorce terrestre qui en ont fait des gisements plus ou moins indépendants.

Les épaisseurs moyennes apparentes de la couche principale de ces divers gisements sont les suivantes : Kai-Ping, 5,50 *m* ; Wang-Ping, 10,50 *m*; Fang-Shau, 6 *m*; Ping-Ting, 6 *m*, et Tse-Chou, 6,50 *m*. En admettant une superficie égale pour tous, on trouvera une épaisseur moyenne de 6,90 *m* pour tout l'ensemble. Les gisements s'étendent sur une longueur de 800 *km*.

Si on suppose une largeur moyenne de 80 *km* seulement, et pour tenir compte des intervalles entre les gisements, que la moitié de la superficie contienne du charbon, on arrive à trouver une superficie exploitable de 32 000 km^2 et un total de 350 000 millions de tonnes, quantité suffisante pour alimenter l'univers entier, au taux actuel de consommation, pendant plusieurs siècles (1).

On peut, il est vrai, objecter que les conditions d'exploitation ne seront pas partout les mêmes dans toute cette immense étendue, mais l'auteur a calculé assez largement pour que les chiffres ci-dessus puissent être acceptés avec confiance. Il n'a, d'ailleurs, mentionné que les gisements sur lesquels il a pu se procurer des données acceptables. D'ailleurs, il n'a tenu compte que de la couche principale de chaque gisement; si on prend en considération toutes les couches pratiquement exploitables, le total sera considérablement augmenté.

Ainsi, dans le Kai-Ping, la couche principale ne représente guère que le tiers du charbon exploitable, dans le bassin de Wang-Ping, encore moins. Dans d'autres gisements, il est vrai, elle forme la plus grande partie ; néanmoins, M. Drake est persuadé qu'une étude plus complète des gisements houillers montrerait une richesse supérieure à celle qu'il a indiquée ci-dessus.

Énergie contenue dans le combustible brûlé dans le monde entier. — Le *Cassier's Magazine* expose les intéressantes considérations qui suivent relativement à l'énergie représentée par la quantité de combustible brûlé dans le monde entier.

Il est assez difficile de donner des chiffres précis sur la quantité totale de houille extraite et consommée dans tout l'univers pour une année donnée, mais les informations les plus dignes de foi permettent de fixer, approximativement, à 700 millions de tonnes de 2 000 livres le total consommé en 1900, la dernière année du dix-neuvième siècle, ce qui correspond à 630 millions de tonnes métriques.

Si on admet que un demi-kilogramme de houille produit l'énergie nécessaire pour le développement d'un cheval pendant une heure, et qu'un cheval-vapeur représente le travail de sept hommes, on peut con-

(1) 550 ans au taux de 630 millions de tonnes par an, chiffre indiqué dans l'article suivant.

clure que la quantité totale de charbon, indiquée ci-dessus, représente le travail de 8 620 000 000 d'hommes pendant une heure.

En comptant dix heures par jour et trois cents jour par an, ce serait le travail d'un peu plus de deux milliards et demi d'hommes pendant l'année. C'est à peu près deux fois et demie la population entière du globe. Il en résulte que, pour remplacer l'énergie produite par la combustion du charbon, il faudrait que chaque habitant de la terre, hommes, femmes et enfants, fût doublé, comme producteur de force, de deux et demi travailleurs, soit cinq pour deux personnes.

Avec la houille, on a l'avantage de ne pas avoir à nourrir et à vêtir ces travailleurs, de ne pas avoir à souffrir de leur indocilité, ni à se préoccuper de savoir s'ils pourront s'accommoder de tel ou tel climat, etc., ce qui n'est pas un avantage médiocre.

Le même journal, amené à considérer l'épuisement plus ou moins proche des houillères, examine la possibilité de recourir, pour remplacer le charbon, à l'énergie emmagasinée dans la chaleur intérieure de la terre, énergie qui dépasse tout ce qu'on peut calculer. A une faible distance au-dessous de la surface, la température croît dans une proportion telle, qu'à une profondeur de 80 *km*, elle atteint 2 800° C. Il y a toutes raisons de croire que la terre est formée d'un noyau à une température extrêmement élevée, entouré d'une couche de matière de faible conductibilité relativement froide.

Dans diverses parties du globe, on peut trouver des températures assez élevées à une faible profondeur au-dessous du sol et, dans toutes, on peut trouver des différences assez considérables de température pour des différences de profondeur relativement modérées. Ce sont les conditions d'une machine calorique, et il semble possible d'en tirer un parti pour l'obtention de puissances considérables.

La question prendra surtout de l'intérêt si on arrive à transformer directement le calorique en électricité d'une manière pratique et économique. On obtiendra alors la puissance sans l'intermédiaire coûteux de la machine à vapeur. On peut espérer voir ce problème résolu avant bien longtemps.

Influence de la température sur la résistance de l'acier. — On vient de publier un rapport officiel sur des essais faits à l'arsenal de l'état de Massachussets dans le but de rechercher l'influence de la température sur la résistance de l'acier. On chauffait les échantillons dans une moufle et on appréciait la température par la dilatation de l'éprouvette. On avait préalablement mesuré ces dilatations avec beaucoup de soin pour les différentes natures d'acier et il suffisait de mesurer, à l'aide d'un micromètre, la longueur à froid et à chaud, on obtenait ainsi la température avec une grande exactitude.

On a opéré sur cinq aciers différents contenant, respectivement, 0,09, 0,20, 0,31, 0,37 et 0,51 0/0 de carbone. On a constaté que la résistance est plus grande à 260° qu'à 20° C. De même elle est plus grande dans le voisinage de 0° qu'à la température ordinaire. Le minimum se trouve à 100° à peu près et le maximum aux environs de 290°. Ces renseignements sont donnés par le *Railroad Digest* comme extraits du *National Engineer*.

Tunnel du Simplon. — Voici l'état d'avancement du percement du tunnel du Simplon à la fin d'octobre dernier :

Galerie d'avancement.	Côté nord.	Côté sud.	TOTAL.
—	—	—	—
Longueur fin septembre. .	5 733 *m*	4 397 *m*	10 130 *m*
Progrès mensuel	211	»	211
TOTAL fin octobre. . .	5 944 *m*	4 397 *m*	10 341 *m*

La longueur totale prévue étant de 19 729 *m*, la longueur de la galerie d'avancement représente les 52,4 0/0.

Côté nord. — La galerie d'avancement a traversé les schistes cristallins. Le progrès moyen de la perforation mécanique a été de 6,80 *m* par jour de travail; c'est le maximum atteint jusqu'à présent en un mois et d'un seul côté du tunnel. Les eaux provenant du tunnel donnent un total de 109 *l* par seconde.

Côté sud. — Par suite de nouvelles venues d'eau très fortes, rencontrées dès le commencement du mois, le travail au front de taille de la galerie d'avancement a dû être suspendu et n'a pas encore été repris. On élargit cette galerie, et on cherche, en outre, à atteindre le front de taille ailleurs au moyen d'une galerie de faite, afin de détourner une partie des eaux et d'en réduire la pression.

Pour la même cause, la perforation mécanique à l'avancement de la galerie parallèle a dû céder le pas à la perforation à la main, mais elle a cependant pu être reprise depuis le 26 octobre. Le front d'attaque de cette galerie a rattrapé celui de la galerie d'avancement, ce qui va aussi contribuer au dégorgement de l'avancement du tunnel. Le volume total des eaux de source sortant du souterrain atteint 590 *l* par seconde.

Une correspondance de Domo d'Ossola, que nous trouvons dans *La Suisse*, donne le détail suivant :

« On a apporté un remède aux graves inconvénients résultant de la colonne d'eau qui jaillit sous une forte pression dans la galerie d'avancement du côté sud et qui a obligé de suspendre pendant un mois la perforation mécanique. Ce jet d'eau formidable empêchait les mineurs de s'approcher du front d'attaque. On en est venu maître par un moyen assez simple; une solide digue en maçonnerie a été construite, à peu de distance du front d'attaque, de manière à former un réservoir dont le niveau se trouve au-dessus de l'orifice par lequel s'échappe l'eau. Au lieu de jaillir avec impétuosité, celle-ci s'écoule maintenant calmement du réservoir par une ouverture latérale donnant sur un canal de décharge.

» Un pont a été jeté sur le réservoir, de manière à permettre aux mineurs de reprendre les travaux de perforation, encore à la main pour le quart d'heure, et sous peu au moyen des machines.

» La roche qu'on perfore maintenant étant friable, l'avancement de la galerie va procéder rapidement et on rattrapera sans trop de peine le temps perdu. »

Production par électrolyse de l'oxygène et de l'hydrogène. — La Compagnie Électrique, précédemment Schuckert et Cie,

construit des appareils pour la production électrolytique de l'oxygène et de l'hydrogène dont la description est donnée par le *Zeitschrift für Elektrochimie.*

Ces appareils se composent de cloches en fonte et de réservoirs du même métal; il n'y a que les conducteurs électriques qui soient en cuivre. On emploie une solution de 15 0/0 de soude caustique dans l'eau. La tension est de 2,8 à 3 volts pour chaque appareil, car on en dispose généralement plusieurs à la suite les uns des autres. La solution est maintenue à 70° C. et si on dispose d'un courant de vapeur, on économise une certaine quantité d'énergie électrique, parce qu'au début de l'opération une partie du courant sert à réchauffer l'eau jusqu'à la température ci-dessus indiquée.

Les deux gaz se dégagent chacun à un des électrodes et vont s'accumuler dans des cloches séparées; ces cloches sont en communication (pour chaque gaz) par des tubes en caoutchouc qui les réunissent également aux appareils de lavage destinés à retenir les traces de soude entraînées par les gaz. Avec cette précaution, on obtient de l'oxygène et de l'hydrogène purs à 2 ou 3 0/0 près. Le dégagement des gaz peut être continu ou intermittent suivant les applications qu'on a en vue, et rien n'est plus facile que d'interrompre ou de rétablir le courant qui produit l'électrolyse.

Les appareils établis par la Société Électrique mesurent à l'extérieur 0,660 *m* × 0,450 *m* sur 0,380 *m* de hauteur et contiennent 40 *l* de solution de soude pour un courant de 600 ampères, le poids est de 220 *kg*. La production par heure atteint 220 *l* d'hydrogène et 110 *l* d'oxygène à la pression atmosphérique et à la température de 15° C.

Une installation pour la production de 100 m^3 d'oxygène et 200 m^3 d'hydrogène par 24 heures, comporte 40 éléments semblables à celui qui vient d'être décrit. Le coût d'établissement sera :

40 éléments à 312,50 *f*	12 500 *f*
Canalisation, accessoires, etc.	5 000
Hangar de 70 m^2	5 000
TOTAL.	22 500 *f*

On suppose qu'on dispose d'une force hydraulique et que le kilowatt coûte 187,50 *f* pour l'année (ce qui fait pour 3 000 heures environ 0,06 *f* le kilowatt-heure). Les dépenses de fabrication seront par jour :

66 kilowatts	41,25 *f*
Renouvellement des électrodes.	4,50
Renouvellement des bains.	4,25
Main-d'œuvre	10,60
Frais généraux.	4,65
Intérêt et amortissement à 15 0/0 l'an . . .	11,25
TOTAL.	76,50 *f*

Le prix moyen du mètre cube de gaz ressort ainsi à 0,25 *f* environ. Si l'on devait comprimer ces gaz pour leur expédition et leur emploi ultérieur, ce prix serait à peu près doublé.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

OCTOBRE 1901.

La convention du mètre et le bureau international des poids et mesures, par M. CH. ED. GUILLAUME (*suite*).

Dans cette seconde partie, l'auteur s'occupe des études thermométriques et, après avoir signalé les erreurs dans lesquelles on était d'abord tombé au sujet de l'impossibilité prétendue de pouvoir faire des thermomètre entièrements comparables, il établit que la fabrication du thermomètre à mercure n'a jamais cessé de progresser et qu'elle a atteint aujourd'hui un degré de perfection qu'il sera difficile de dépasser sensiblement.

La question des thermomètres est étudiée très complètement, on trouvera, entre autres, des détails circonstanciés sur les thermomètres à gaz et sur leurs applications.

Ensuite le mémoire s'occupe du baromètre, puis des mesures de longueur et des appareils employés pour la détermination de celle-ci, comparateurs, tracé des étalons, etc.

Les marines de guerre modernes, par M. L. DE CHASSELOUP-LAUBAT (*suite*).

Cette partie est consacrée à l'étude des navires de la marine italienne : cuirassés, croiseurs-cuirassés et croiseurs protégés.

Fabrication du ciment en fours tournants, d'après MM. STANGER ET BLOUNT (traduit des publications de l'*Institution of Civil Engineers*).

Les fours rotatifs pour la fabrication du ciment ont été introduits en Angleterre en 1885 par Ransome; ils ne réussirent pas pratiquement; M. Stokes les perfectionna en utilisant pour le chauffage des chaleurs perdues. Mais c'est aux États-Unis que les idées de Ransome et de Stokes ont fructifié, grâce surtout à la possibilité d'employer le pétrole comme combustible. L'usine de l'Atlas Cement Company en Pensylvanie emploie 51 fours tournants produisant 8 000 à 9 000 barils par jour. La note donne des détails sur l'installation des fours, leur garnissage et leur service, consommation de combustible, production, etc.

Recherches sur le cuir pour reliure.

Une commission anglaise a publié un rapport sur le cuir employé dans la reliure; le but qui avait motivé la constitution de cette commission était la recherche des causes de l'altération et de la détérioration des reliures en cuir dans les bibliothèques. Ces causes peuvent être dans le

mode de préparation du cuir d'une part et dans les conditions du milieu où se trouvent les livres. On a trouvé que l'altération est due à des effets mécaniques et chimiques. Le rapport indique quelques précautions à prendre pour la préparation des cuirs destinés à la reliure. Quant à la préservation des livres dans les bibliothèques, elle recommande l'emploi de verres teintés qui arrêtent les énergiques rayons actiniques de la lumière.

Notes de mécanique. — On trouve dans ces notes la description des laminoirs et transbordeurs Huber et Kennedy, des essais pour acier à outils faits par une commission de l'Association des Ingénieurs allemands et une note de M. G. Koenigs sur les systèmes binaires, les couples d'éléments cinématiques et les chaînes secondaires.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

PREMIER TRIMESTRE DE 1901 (*suite*).

Étude sur **la résistance des barrages en maçonnerie**, par M. R. RAFFIEUX, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

L'auteur rappelle d'abord que les études faites depuis quelques années sur les barrages en maçonnerie ont donné naissance à divers types dérivés du mur à profil continu qui peuvent offrir une infinité de variantes entre cet ancien type et le barrage à voûtes verticales dont M. l'Ingénieur en chef Pelletreau a donné la description en 1897, dans les *Annales des Ponts et Chaussées.* Il est intéressant de comparer, aux points de vue technique et financier, les deux termes extrêmes de cette série et d'établir, dans ce but, pour les barrages à profil continu, une sorte de profil normal qui put servir de terme de comparaison. La première partie de la note s'occupe de la recherche de ce profil et de la détermination de ses propriétés. La seconde partie comporte l'étude des barrages en voûte et son application à un cas particulier et la troisième partie est consacrée à la comparaison des deux systèmes.

La conclusion de cette comparaison est que, quelque avantage que l'on puisse trouver dans la simplicité relative qu'offrent l'étude et la construction des barrages à profil continu, les barrages en voûte semblent présenter de tels avantages d'économie ou de résistance qu'il y aurait grand intérêt à déterminer expérimentalement la valeur technique et économique de ce nouveau mode de construction.

Notice sur le viaduc de Mussy, par M. POUTHIER, Ingénieur de la Compagnie P.-L.-M.

Ce viaduc fait partie de la ligne de Paray-le-Monial à Lozanne, qui comprend également le souterrain des Echarmeaux dont nous avons parlé précédemment (voir comptes rendus de mars 1901, page 523). Il est exécuté pour deux voies et a 561 *m* de longueur avec 60 *m* de hauteur

maxima au-dessus du sol; il comporte un seul étage avec 18 arcades en plein cintre de 25 *m* d'ouverture chacune. La partie médiane est en alignement droit en plan et les extrémités en courbe de 450 *m* d'un côté et 500 *m* de l'autre.

Le sous-sol de la vallée faisant partie du terrain primitif, les fondations n'ont pas donné lieu à de sérieuses difficultés et notamment les épuisements dans les fouilles ont été insignifiants. La durée des travaux a été de trois ans et demi, de 1892 au milieu de 1895. L'ouvrage a coûté 2 750 000 *f*, ce qui donne 130,50 *f* par mètre carré d'élévation, pleins et vides compris.

Note sur une drague à pétrole pour dragages d'entretien, par M. Wender, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Il s'agit d'une petite drague servant à l'entretien de la partie de la Seine comprise entre les confluents de l'Aube et de l'Yonne pour enlever des ensablements qui se forment sur les hauts-fonds après chaque crue. Cette drague a 13 *m* de longueur et 3 *m* de largeur. La chaine à godets est actionnée par une transmission à engrenages et courroie par un moteur à pétrole, donnant 5 *ch* à 315 tours par minute.

On a extrait, en 1900 avec cet engin, 6 066 m^3 de sable sur la Seine, au prix de 4 031 *f*, ce qui donne, pour le mètre cube chargé, transporté et déchargé, 0,66 *f* en moyenne, amortissement non compris. Cette drague est simple, d'un service économique et très satisfaisant; elle a coûté 8 500 *f*; elle est accompagnée de trois chalands du prix de 2 600 *f* chacun, de sorte que le matériel complet coûte 16 500 *f*. Il peut être amorti après avoir exécuté 20 000 à 22 000 m^3, ce qui, dans le service auquel il est appliqué, demande moins de trois ans. Il a été fourni par MM. Chion et Serbon, constructeurs-mécaniciens à Montereau.

Portes d'écluses en fer et en bois. — Économie de l'emploi du bois pour les remplacemetns. — Application aux voies navigables à trafic moyen ou faible, par M. Claise, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

L'auteur croit pouvoir démontrer que, si le métal se justifie lors de la construction d'une voie navigable, il se justifie moins pour le remplacement de portes en bois sur une voie existante, de trafic moyen ou faible. Il indique que, sur la Meuse canalisée, on réalise une économie importante en conservant les portes en bois, car la dépense, pour des écluses de 5,70 *m* de largeur avec une chute variant de 1,07 *m* à 4,10 *m*, ne dépasse pas 60 *f* par mètre carré, alors qu'elle atteint 200 *f* avec le métal. Le bon marché de l'emploi du bois, lors des remplacements, permet de faire ces remplacements aussitôt qu'on soupçonne la mauvaise qualité d'une pièce.

La conclusion est que, s'il convient de réserver le métal pour les portes des écluses à construire et pour celles des canaux à grande fréquentation où toute chance d'interruption doit être écartée, en revanche, il y aura une économie appréciable à conserver le bois lors du remplacement de portes en bois sur les voies à trafic moyen ou faible.

ANNALES DES MINES

6e livraison de 1901.

Commission des substances explosives. — Rapport sur **l'étude de la question du bourrage** des coups de mines.

La Commission avait à comparer la valeur des divers bourrages au point de vue de l'utilisation des explosifs et au point de vue des dangers à redouter. Ces dangers peuvent provenir : 1° de l'inflammation par friction des trainées d'explosif restées le long des parois du trou de mine; 2° de l'inflammation de mélanges grisouteux à la suite d'un débourrage. Les essais ont été divisés en trois parties, une pour chacun des points de vue énoncés ci-dessus.

Ces essais, sans avoir élucidé complètement toutes les questions posées, ont du moins montré :

1° Que, dans la pratique, le bourrage au sable parait donner de meilleurs résultats que le bourrage à l'argile;

2° Que le sable s'oppose beaucoup plus efficacement que les matières plastiques au débourrage des coups de mine, ce qui a une grande importance dans les mines à grisou et à poussières inflammables;

3° Que les risques d'inflammation par friction dans le bourrage des coups de mine semblent très faibles, quelle que soit la nature du bourrage employé.

En présence de ces résultats, la Commission est d'avis qu'il n'y a pas lieu de maintenir l'exclusion du bourrage au sable dans l'emploi des explosifs de sûreté.

Revue de la **construction des machines en l'an 1900**, par M. Ed. Sauvage, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École Nationale supérieure des Mines.

L'auteur consacre d'abord quelques lignes au vocabulaire technique et, après avoir constaté l'échec complet du *poncelet* créé par le Congrès de mécanique appliquée de 1889, expose qu'on pourrait sans inconvénient remplacer par le kilowatt, l'usage du cheval vapeur, en même temps que le poncelet dont il a presque la valeur 102 *kgm* au lieu de 100. Il est en effet gênant, dit M. Sauvage de voir évaluer en chevaux la puissance d'un moteur, tandis qu'on compte en kilowatt celle d'une dynamo qu'il actionne.

Nous avons la plus grande considération pour tout ce qui émane de la plume de l'éminent professeur, mais nous craignons que l'emploi du kilowatt, très acceptable en électricité, ne passe difficilement dans la pratique de la mécanique et qu'on ne continue encore longtemps à ne pas accepter cette unité dont le point de départ est exclusivement électrique, pour l'appréciation de la puissance des machines motrices en général. S'il est gênant de voir exprimer en chevaux la puissance d'une station centrale d'électricité (et pourquoi ?) ne serait-il pas singulier de

voir compter en kilowatts la puissance d'une machine élévatoire, d'une locomotive à vapeur ou d'un paquebot transatlantique dans lesquels l'électricité n'a rien à voir ?

L'auteur reproduit les abréviations des unités du système métrique établies depuis longtemps par le Comité international des poids et mesures et signale quelques omissions qu'il serait utile de réparer et critique certains points annexes.

La note examine la question des moteurs à gaz en signalant les derniers progrès réalisés, puis celle des moteurs à pétrole en disant quelques mots de l'emploi de l'alcool.

Vient ensuite le sujet des machines à vapeur où sont passées rapidement en revue les questions de rendement, de l'action des parois, des enveloppes, de la compression, de l'expansion multiple, de la surchauffe et enfin des turbines à vapeur. Dans chaque partie sont signalés les travaux les plus récents y relatifs.

7e livraison de 1901.

Les gisements diamantifères de la région sud-est de **l'île de Bornéo**, par M. Gascuel, ingénieur civil des Mines.

Les gisements diamantifères de l'île de Bornéo sont exploités depuis plusieurs siècles par les Malais; ils consistent en couches de graviers, situées à des profondeurs très variables. Les diamants qu'on y trouve ont toujours été très renommés pour leur éclat et leur pureté; ils sont en général, plus durs que ceux du Cap. Mais, pour diverses raisons parmi lesquelles figure l'élévation, excessive à une certaine époque, du prix des licences, l'exploitation est devenue presque nulle. Actuellement, dans le district de Martapoura, elle ne produit pas plus d'un millier de carats par an.

De **l'emploi de l'acier et du nickel** dans les constructions navales, par M. Brocard, ingénieur en chef du Génie maritime.

L'addition de nickel à un acier ordinaire au carbone et au manganèse a pour effet d'en améliorer, dans une certaine mesure, les qualités de tenacité, de dureté et de ductilité, et d'en abaisser les points critiques de transformation allotropique et en en particulier, la température qui produit le même état de durcissement que celui donné par la trempe aux aciers ordinaires.

L'addition du nickel permet, en supprimant l'opération de la trempe, d'employer des aciers à haute teneur en carbone, par suite à haute résistance, que leur fragilité avait fait, jusqu'à présent, rejeter des constructions soumises à des variations brusques d'efforts.

Mais à côté des avantages capitaux que parait présenter l'emploi d'acier au nickel, il convient de faire un certain nombre de réserves au sujet de l'avenir de ces nouveaux aciers, réserves basées sur : 1° le prix assez élévé du nickel; 2° la fabrication délicate de ces aciers; 3° la difficulté plus grande du travail d'usinage et 4° la difficulté d'obtenir des moulages sains, difficultés qui limitent singulièrement l'emploi de l'acier moulé au nickel.

Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1899 par les Ingénieurs des Mines dans les laboratoires départementaux.

La surchauffe de la vapeur, par M. ABRAHAM, Ingénieur des constructions navales.

L'auteur expose d'abord des considérations théoriques sur la surchauffe et étudie ensuite la construction et l'installation des surchauffeurs de divers systèmes et les dispositions adoptées pour les machines à vapeur surchauffées. Sa conclusion est que l'emploi du surchauffage constitue, pour les machines à vapeur, un progrès réel qui est venu à son heure, au moment où les moteurs à gaz pauvre commencent à faire à ces machines une concurrence sérieuse.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE.

AOUT 1901.

DISTRICT DU CENTRE

Séance du 30 juin 1901.

Communication de M. BONNEL sur un **monte-charge électrique** employé à la glacerie de Montluçon.

La charge s'élevant toujours et étant toujours la même, on a pu simplifier l'arrangement en employant un contrepoids qui équilibre la moitié de la charge et en faisant travailler l'appareil dans les mêmes conditions dans les deux sens de la marche (montée et descente). La dynamo, qui peut marcher dans les deux sens, commande par courroie un arbre portant une vis sans fin actionnant une roue dentée tournant avec la vis dans un bain d'huile. Sur cet arbre sont calées deux noix entraînant les deux brins d'une chaîne calibrée, dont les extrémités viennent s'attacher au contrepoids, tandis que la partie médiane passe sous la poulie de suspension de la cage. Il y a deux freins, l'un mécanique, l'autre électrique. La charge de l'appareil est de 1.100 *kg*.

Communication de M. LÉVÊQUE sur **le remplacement du chevalement du puits Mony,** de la mine de Montvicq.

Le chevalement de ce puits, construit en chêne et en service depuis 31 ans étant devenu défectueux, on a dû le remplacer par un nouveau identique. La note décrit en détail les opérations de démontage de l'ancien et de montage du nouveau, lesquelles n'ont entraîné qu'un chômage de 36 heures.

Communication de M. HELIOT sur **la production du phosphate et du superphosphate de chaux.**

En France, la production annuelle des phosphates minéraux peut être évaluée à 633 000 *t* provenant principalement de la Somme, le

Pas-de-Calais, l'Aisne et la Meuse. Sur ce chiffre 350 000 *t*, soit un peu plus de la moitié servent à la fabrication du superphosphate.

Dans le monde entier, on extrait près de 3 millions de tonnes de phosphates dont 50 0/0 aux États-Unis, et 39 0/0 en France et dans ses colonies méditerranéennes. Sur ce chiffre une très faible partie est utilisée directement et la plus grande partie est employée à la fabrication des superphosphates. Comme 1 *t* de phosphate donne environ 1 800 *kg* de superphosphate, on calcule que la production, en 1900, de superphosphates peut s'élever à 3 650 000 *t* pour l'Europe seule. Cette quantité représente une valeur de 200 millions de francs.

Communication de M. Lemière sur **les profils sédimentaires théoriques.**

Commmunication de M. Dumuis sur **les dimensions normales des conduites de vapeur à haute pression.**

Ces dimensions ont été établies par une Commission d'Ingénieurs et ont été données par le *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.* Elles concernent les conduites de 30 à 400 *mm* de diamètre et les pressions de 8 à 20 *atm.*

Visite à l'atelier des fers creux des forges de Saint-Jacques.

Le métal employé est de l'acier extra-doux; on part de disques circulaires découpés dans des tôles; on les emboutit à chaud en 5 ou 6 passages, et on les défonce, de manière a obtenir des tubes ébauchés de 1 *m* de longueur et 150 *mm* de diamètre sur 20 à 25 *mm* d'épaisseur. Ces tubes sont ensuite étirés à chaud.

L'acier subit, par le fait du tréfilage, un écrouissage très considérable et la résistance du métal passe de 35 à 80 *kg* en deux passes. On doit alors recuire les tubes pour leur rendre leur état de douceur initial. Ils sont essayés à une pression de 125 *atm.*

Production houillère du Pas-de-Calais et du Nord du premier semestre de 1901, comparée au semestre correspondant de 1900.

Production houillère de la Loire du premier semestre de 1901, comparée au semestre correspondant de 1900.

SOCIÉTE DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 44. — *2 novembre 1901.*

Installations d'épuisement de la Compagnie minière et métallurgique de l'Horcajo, avec pompes centrifuges à haute élévation actionnées par l'électricité, de la maison Sulzer frères; par F. Heerwagen.

Nouveaux appareils de levage à manœuvre électrique de la fabrique de machines de Benrath.

Exposition universelle de 1900. — Construction des turbines, par E. Reichel *(suite).*

Les moteurs à explosion, par A. Weber-Sahli.

Groupe de Berg. — Procédés divers pour la photographie des couleurs. — Procédés de fabrication des tuyaux en fer avec et sans soudure.

Groupe de Schleswig-Holstein. — Construction de la nouvelle forme sèche aux chantiers impériaux de Kiel.

Bibliographie. — Construction et exploitation des chemins de fer électriques, par M. Schiemann.

Revue. — La troisième session de l'association internationale pour les essais de matériaux, à Budapest. — Moteur Bull de l'Anglian Engineering Cy.

Correspondance. — Machines rotatives et turbines à vapeur.

N° 45. — *9 novembre 1901.*

Exposition universelle de 1900. — Appareils de levage, par Kammerer *(suite).*

Gaz Mond, par R. Schöttler.

Progrès dans la construction des machines-outils en Allemagne, par F. Rappert.

Construction des aubes des turbines radiales, par F. Baashuus.

Groupe de Berlin. — Essais des sources.

Groupe de la Haute-Silésie. — Essais sur les aciers pour tournage rapide d'origine américaine et allemande.

Bibliographie. — Tables pour faciliter les calculs, de Proell.

Revue. — Les nouveaux ateliers des aciéries de Sharon. — Perte du contre torpilleur anglais *Cobra.* — Voiture à moteur pour poids lourds. — Station centrale électrique de Zell. — Goëlette à 7 mâts.

N° 46. — *16 novembre 1901.*

Exposition universelle de 1900. — Appareils de levage, par Kammerer *(fin).*

Exposition universelle de 1900. — Construction des turbines, par E. Reichel *(suite).*

Nouvelles machines à raboter de la fabrique berlinoise de machines-outils, précédemment L. Sentker, par P. Janzon.

Transmission par courroies à grande vitessse, par H. Abbes.

Aperçu sur les calculs d'établissement des moteurs à gaz, par R. Barkow.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — La pompe express « Schleifmühle ».

Groupe du Rhin moyen. — Histoire de la thermométrie.

Groupe de la Thuringe moyenne. — Institutions pour l'amélioration du sort des ouvriers dans les fabriques allemandes.

Bibliographie. — Exploitation des mines de houille dans les provinces rhénanes et en Westphalie.

Revue. — Expériences sur l'écoulement de la vapeur par des orifices. — Appareils pour la prévention de la fumée de Schulz-Knaudt. — Effet utile de locomotives à grande vitesse de divers systèmes.

N° 47. — *28 novembre 1901.*

Exposition internationale de Glasgow *(suite).*

Exposition universelle de 1900. — Les locomotives, par E. Brückmann *(suite).*

Progrès dans la construction des machines-outils en Allemagne, par F. Ruppert *(suite).*

Exposition universelle de 1900. — Les machines de filature, par G. Rohn *(suite).*

Expériences sur la dépense de vapeur d'une turbine à vapeur Lavals par A. Schmidt.

Groupe de la Lenne. — Matières colorantes organiques artificielles.

Groupe du Rhin inférieur. — Exposition à Dusseldorf en 1902.

Revue. — Torpilleurs de haute mer américains *Thornton* et *Schabrick.* — Moulin à vent à bord du *Gauss.* — Travaux du tunnel du Simplon. — Dynamos volants. — Expériences de la Société d'étude des chemins de fer électriques à grande vitesse.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

IVe SECTION

Traité de perspective linéaire, précédé du *Tracé des ombres usuelles et du rendu*, par M. J.-J. PILLET, Professeur de géométrie descriptive à l'Ecole nationale et spéciale des Beaux-Arts (1).

Dans la 3e édition de son livre, M. Pillet a réuni tout ce qui, dans les applications de la Géométrie descriptive, est du domaine de la *Plastique*, c'est-à-dire a pour but la représentation de la *Forme.*

Dans la première partie : *Ombres usuelles*, l'auteur démontre les trois théorèmes généraux qui, s'appliquant à tous les objets, à tous les éclairages, et à tous les modes de représentation, permettent au dessinateur d'imprimer à ses lignes d'ombres le mouvement qui leur convient. Après avoir exposé et discuté les trois méthodes générales à employer, pour la recherche des ombres, il nous initie aux tracés très simplifiés qui résultent de l'emploi du rayon à 45° et dont un certain nombre ont été imaginés par lui.

Dans les nombreux exemples qu'il emprunte aussi bien au dessin d'architecture qu'au dessin de machines, il réussit à donner des constructions qui, en étant aussi ramassées que possible, permettent de se servir d'élévations de coupes et de plans dessinés à des échelles différentes et conduisent à tracer les ombres directement sur l'élévation sans avoir recours au plan,

La seconde partie : le *Rendu*, est une œuvre très personnelle de l'auteur; elle reproduit les leçons faites par lui à l'Ecole Polytechnique. Il prend la sphère comme point de départ, parce qu'elle présente, dans les éléments de sa surface, toutes les orientations possibles; il l'éclaire ; il l'ombre; il y projette des ombres portées et il analyse tous les effets de modelé qui en résultent. Après quoi, il fait le *Rendu* de cette *sphère type* et il le compare à la réalité. Supposons alors qu'un objet compliqué doit être dessiné et rendu ; il suffira, pour être fixé sur les valeurs à attribuer aux lumières, aux ombres et même aux colorations de ses différentes parties, de mettre ces dernières à l'unisson de celles qui, sur la *sphère type*, se présentent dans les mêmes conditions. Des planches très nombreuses nous montrent, sur les objets les plus complexes, les tracés de *Lignes d'égales teintes* les plus imprévus et qui sont néanmoins obtenus très simplement.

Cette seconde partie se termine par l'exposé et par la discussion des principes de perspective aérienne et de perspective physiologique.

Il faut remarquer avec quelle insistance M. Pillet demande à ses lecteurs de ne pas procéder d'une façon scientifique abusive et combien il leur recommande d'étudier le plus possible d'après nature.

La perspective linéaire constitue la partie capitale de l'ouvrage. M. Pillet s'est imposé de la traiter en même temps au point de vue scientifique et au point de vue artistique, tout en s'attachant à sim-

(1) Vol. in-quarto 325×255 de 280 pages, avec 449 figures ; à la Librairie des arts, du dessin et de la construction. — Paris, 82, rue de Rennes, prix relié 15 francs.

plifier autant que possible les tracés qu'il tenait de ses devanciers. C'est dans cet esprit qu'il a traité le problème des points de fuite inaccessibles et des ombres, celui de la division en parties proportionnelles à des longueurs ou à des nombres donnés, et celui de la division perspective des cercles, etc., etc.....

Le premier est résolu par les *délinéateurs de convergence*, dont l'auteur donne des applications variées, et les autres le sont par l'emploi de ce qu'il nomme les *échelles divergentes*.

Aujourd'hui les simplifications sont si grandes qu'une opération de perspective linéaire, même compliquée, peut être entreprise et achevée sans que l'épure géométrale, qui lui a servi de point de départ, porte la trace sensible des lignes de construction.

Certaines personnes disent encore qu'il y a deux perspectives, celle des peintres, toute de sentiment, et celle des architectes, toute de géométrie. C'est une erreur que M. Pillet a cherché à déraciner dans son chapitre intitulé *Dessin d'après nature*, en montrant les secours que peuvent et que doivent se rendre mutuellement la *perspective d'observation* et la *perspective linéaire*... Ce chapitre est très nouveau, tout le monde peut en tirer un profit immédiat; aussi bien l'amateur qui veut dessiner d'après nature, sans commettre de fautes grossières, que l'instituteur auquel incombe le soin d'enseigner le dessin.

Il faut rattacher au même ordre d'idées les questions de *Restitutions perspectives;* l'étude qui en est faite réduit à leur juste valeur les critiques de ceux qui accusent la perspective linéaire de fournir des représentations fausses.

Un chapitre nouveau sur les instruments perspecteurs montre l'emploi de la chambre claire et tout le parti que l'on peut en tirer. Il fait connaître aussi des appareils mécaniques, sortes de pantographes, à l'aide desquels, en suivant d'un côté avec une pointe sèche les contours d'un dessin géométral, on voit, de l'autre côté, une pointe traçante reproduire ce même géométral en perspective, sous telles conditions d'horizon et de point de vue que l'on veut.

L'ouvrage se termine par un exposé des principes et des procédés de la perspective théâtrale. Les peintres, les architectes, les ingénieurs et même les amateurs, goûteront beaucoup cette partie de l'ouvrage.

Par ce que nous venons d'en dire, on voit que l'ouvrage de M. Pillet est aussi bien un livre d'étude pour les élèves qu'un livre à consulter par les praticiens.

E. Pontzen.

Ve SECTION

Instruments et méthodes de mesures électriques industrielles, par M. H. Armagnat, 2[e] édition, revue et augmentée. (1)

Dans la seconde édition de ce livre, l'auteur a tenu à mettre ses lecteurs au courant des progrès réalisés, ces dernières années, dans les ap-

(1) Un vol. in-8° 230×140, de III-615 pages, avec 228 fig. Paris, C. Naud, éditeur, 1902 Prix relié, 15 francs.

pareils à courant alternatif. Différents chapitres ont été aussi revus et les perfectionnements actuels y ont été ajoutés.

Cet ouvrage important comprend trois parties. Dans la première sont décrits les appareils de mesure, leur observation et leur installation. La seconde renferme les appareils industriels d'usage courant. Un chapitre est réservé aux appareils à courant alternatif : appareils d'induction, transformateurs pour mesure, wattmètres, etc. Une large part est faite aux enregistreurs et compteurs, dont les derniers modèles sont décrits dans cet ouvrage.

La troisième partie est relative aux méthodes générales de mesure. Comme le fait remarquer l'auteur, on tend de plus en plus à remplacer les méthodes qui exigeaient un groupement d'instruments par des appareils complets. La mesure est peut-être plus mécanique, mais il est encore plus nécessaire d'en connaitre les limites d'emploi. Aussi on trouve dans cette partie, outre les méthodes générales de mesure, la description des instruments spéciaux créés pour remplacer ces méthodes.

Le chapitre consacré à la mesure des champs magnétiques et à l'étude des propriétés du fer a été considérablement augmenté et ces mesures si intéressantes sont l'objet d'une étude spéciale de l'auteur.

Enfin, les mesures nouvelles et générales aux courants alternatifs : fréquence, phase, forme de courant, oscillographe et rhéographe, sont traitées dans le dernier chapitre.

En résumé, le livre de M. Armagnat constitue un des meilleurs livres d'étude des appareils de mesure.

O. Rochefort.

Les applications pratiques des ondes électriques ; *Télégraphie avec conducteur*, *Eclairage*, *Commande à distance* par Albert Turpain, Docteur ès sciences, Préparateur de physique à la Faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux (1).

L'auteur, qui a fait de nombreux travaux très appréciés sur les ondes électriques, a rendu un signalé service en réunissant, avec une grande compétence, tout ce qui a été tenté relativement à ces diverses applications.

Dans son introduction M. Turpain dit que, grâce à la découverte de la radioconduction par M. Branly, et à l'heureuse application que sut en faire M. Marconi, la télégraphie sans fil est devenue autre chose qu'une curieuse expérience de physique. Les divers essais, couronnés de toutes parts d'un succès croissant, en ont fait une des solutions pratiques les plus complètes de l'intéressant problème des communications à petite distance.

Les ondes électriques semblent encore promettre des applications non moins heureuses à la télégraphie avec conducteur. Peut-être même n'est-il pas illusoire d'espérer qu'elles constitueront un jour un nouveau mode d'éclairage électrique.

Dans le chapitre I, l'auteur traite de la production et de l'observation des ondes électriques ; il passe successivement en revue les expériences de Hertz, les ondes stationnaires, les ondes électriques le long des fils.

(1) In-8° 230×140, de 812 pages avec 271 figures. Paris, C. Naud, prix relié 12 fr.

Il étudie les diverses formes d'excitateurs, en particulier ceux de Hertz, de Mun, Blondlot, Righi. Puis, il arrive aux divers moyens d'observer la résonnance électrique avec les appareils de Hertz, de M. Blondlot, avec les tubes à gaz raréfié. M. Turpain décrit les tubes radioconducteurs ou cohéreurs de Branly, ceux de MM. Lodge, Popoff, Marconi, Blondel, Tommasina et Tissot.

Le chapitre II est consacré aux machines électriques, aux bobines d'induction et aux interrupteurs, et à l'entretien d'un excitateur en activité. L'auteur passe en revue les machines de MM. Holtz, Winshurst, Woss, Bonetti et Pidgeon. Après, il étudie les bobines d'induction de MM. Apps, Elihne Thomson, Wydts et de Rochefort; puis, les différents perfectionnements que l'on a fait subir à l'interrupteur de Foucault avec ou sans production d'un jet de mercure et à ceux du genre Wehnelt.

Le chapitre III contient les applicatious des ondes électriques à la télégraphie. On y trouve décrites les expériences de MM. Marconi, Slaby, Voisenat, Ducretet et Tissot. Les qualités requises pour le fonctionnement convenable du transmetteur, du récepteur et des antennes sont examinées en détail.

Le chapitre IV est destiné aux applications des ondes électriques à la télégraphie avec conducteur.

Les principes des champs ordinaires à deux fils de Hertz, et de ceux qui sont interférents, permettent de résoudre la plupart des problèmes de télégraphie tels que les transmissions duplex, diplex, quadruplex et multiplex. Dans le chapitre V se trouvent décrits les courants de haute fréquence. Nous y voyons les dispositifs de MM. Tesla, Thomson, d'Arsonval et Oudin.

Le chapitre VI contient les applications des ondes électriques à l'éclairage, l'entretien des lampes à incandescence par les courants de haute fréquence, et l'illumination des tubes à gaz raréfié produite par les ondes électriques.

Dans un appendice, l'auteur donne les différentes théories de la radioconduction, des excitateurs, du rôle joué par les antennes, puis il décrit les dispositifs proposés pour accorder un oscillateur et un récepteur, pour une longueur d'onde déterminée à l'exclusion des autres et qui se rapporte au problème de la syntonisation. Il passe en revue les principaux brevets s'appliquant à la télégraphie sans fil et certains appareils actionnés à distance au moyen des ondes électriques.

L'ouvrage se termine par la liste générale des brevets se rapportant à la télégraphie hertzienne et par un index bibliographique.

L'intéressant livre de M. Turpain rendra un grand service à tous ceux qui voudront connaître l'état actuel des applications des ondes électriques. Elles ont déjà permis de résoudre d'une façon extrêmement élégante un assez grand nombre de problèmes et l'avenir leur réserve sans doute une importance de plus en plus grande.

G. Risler.

Le Gérant, Secrétaire administratif,
A. de Dax.

Imprimerie Chaix, rue Bergère, 20, Paris. — 20638-11-01. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

DÉCEMBRE 1901

N° 12

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de décembre 1901, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

RINGELMANN (M.). — *Le Matériel agricole à l'Exposition de 1900*, par Max Ringelmann (La Mécanique à l'Exposition. N° 14) (in-4°, 320×225 de 224 p. avec 363 fig.). Paris, Vᵉ Ch. Dunod; Librairie agricole, 1901 (Don de l'éditeur). 41392

Chemins de fer et Tramways.

Les Chemins de fer aux Colonies et dans les pays neufs. Tomes I, II et III (Bibliothèque coloniale internationale. Institut colonial international. Bruxelles, 5ᵉ série). Paris, Augustin Challamel, 1900 (Don de M. A. Moreau, de la part de M. J.-V. Post, M. de la S.). 41405 à 41407

Chimie.

MAMY (H.). — *Peinture à la céruse et Peinture à base de zinc.* Rapport présenté au Conseil de direction, au nom du Comité exécutif, par M. H. Mamy, Directeur de l'Association (Association des Industriels de France contre les accidents du travail. Circulaire n° 18) (in-8° 240×155 de 10 p.). Paris, 3, rue de Lutèce, novembre 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41409

WURTZ (Ad.), FRIEDEL (Ch.) et DUPONT (J.). — *Deuxième Supplément au Dictionnaire de Chimie pure et appliquée*, de Ad. Wurtz, publié sous la direction de Ch. Friedel et J. Dupont, Secrétaire de la Rédaction. *Tome IV. F.-G.* (in-8° 260×165 de 947 p.). Paris, Hachette et Cie, 1901. 41383

Construction des Machines.

La Mécanique à l'Exposition de 1900. 8e livraison. Neuvième dans l'ordre d'apparition. Les Appareils de levage et de manutention, par M. R. Masse (in-4°, 320×225 de 108 p. avec 136 fig.). Paris, Ve Ch. Dunod, novembre 1901 (Don de l'éditeur). 41414

Économie politique et sociale.

Chambre de commerce de Paris. Travaux de la Chambre de commerce de Paris pendant l'année 1900 (in-8°, 220×140 de LXIII-836-56-16 p.). Paris, Librairies-Imprimeries réunies, 1901. 41393

Enseignement.

École spéciale d'Architecture. Année 1901-1902. Séance d'ouverture du 18 octobre 1901 (in-8°, 225×145 de 38 p.). Paris, 136, boulevard du Montparnasse. 41403

Université de Liège. Ouverture solennelle des cours le 22 octobre 1901. Discours de M. le Recteur V. Dwelshauvers-Déry sur la Machine à vapeur moderne. Rapport sur la situation de l'Université pendant l'année 1900-1901 (in-8°, 220×145 de 61 p.). Liège, Henri Poncelet, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41411

Géologie et Sciences naturelles diverses.

CASSE (A.). — *Définition, composition, drainabilité des Sables boulants. Construction d'ouvrages dans ces terrains*, par A. Casse (Extrait du Bulletin de la Société Belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie. Tome XV. Année 1901. Pages 511-522) (in-8°, 245×165 de 12 p.). Bruxelles, Hayez, novembre 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41390

Twenty-first Annual Report of the United States Geological Survey, to the Secretary of the Interior, 1899-1900. Charles D. Walcott, Director. In seven Parts. *Part I, Part VI and Part VI continued* (3 vol. in-8° 295×190). Washington, Government Printing Office, 1901. 41397 à 41399

Législation.

Association Française pour la Protection de la Propriété industrielle. Classification nouvelle des Brevets d'invention en groupes et classes. Rapport de la Commission (in-8° 240×155 de 12 p.). Paris, Imprimerie Chaix, 1901. 41417

Association Française pour la Protection de la Propriété industrielle. Conférence de Bruxelles. Acte additionnel du 14 décembre 1900 modifiant la Convention du 20 mars 1883, ainsi que le Protocole de clôture y annexé (in-8°, 240×155 de 16 p.). Paris, Imprimerie Chaix, 1901. 41418

Médecine, Hygiène, Sauvetage.

Foleÿ (A.-E.). — *Du Travail dans l'Air comprimé.* Étude médicale, hygiénique et biologique faite au pont d'Argenteuil, par Antoine-Édouard Foleÿ (in-8°, 275×180 de viii-136 p. avec 1 pl.). Paris, J.-B. Baillière et fils, 1863 (Don de M. A. Mallet, M. de la S.). 41375

Tellier (Ch.). — *La Vie allongée sous tous les climats et pour tous les âges. Étude sur les moyens d'aider à rendre à la vie humaine sa véritable durée*, par Ch. Tellier (in-16, 180×125 de ii-248 p.). Laval, L. Barnéoud et C[ie]; Paris, Ch. Tellier et Duhart, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41386

Métallurgie et Mines.

Bel (J.-M.) et Doumer (P.). — *En Indo-Chine. Du sous-sol*, par J. Marc Bel, avec une allocution de M. P. Doumer (Extraits du Bulletin de la Société de Géographie commerciale de Paris, n[os] 6, 7, 8 et 9. Séance générale du 18 juin 1901) (in-8°, 225×140 de 20 p.). Paris, 8, rue de Tournon, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41415

Boutté (M.). — *Le Matériel et les Procédés de l'Exploitation des Mines à l'Exposition Universelle de 1900*, par M. Boutté (Extrait de la Revue technique de l'Exposition Universelle de 1900) (in-8°, 280×195 de 263 p. avec atlas 390×285 de 11 pl.). Paris, E. Bernard et C[ie], 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 41394 et 41395

Brocard (Ch.). — *De l'Emploi de l'Acier au nickel dans les constructions navales*, par M. Brocard (Extrait des Annales des Mines, livraison de juillet 1901) (in-8°, 225 × 145 de 19 p.). Paris, V[e] Ch. Dunod, 1901 (Don de l'auteur). 41412

Contribution à l'Etude des Alliages, par MM. H.-W. Bakhuis Roozeboom, Ad. Carnot, G. Charpy, H. Le Chatelier, H. Gautier, Ed. Goutal, Guillaume, F. Osmond, Roberts Austen, M[me] Sklodowska Curie, sous la direction et le contrôle de la Commission des Alliages 1896-1900 (Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale) (in-4°, 280×230 de xvi-519 p. avec nombreuses figures). Paris, typographie Chamerot et Renouard, 1901 (Don de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale). 41401

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Mémorial du Génie Maritime. Troisième série. Fascicule I. (Ministère de la Marine) (in-8°, 280 × 190 de 184 p. avec 6 pl.). Paris, Librairie militaire R. Chapelot et C[ie], 1901. 41402

Quinette de Rochemont (Baron de) et Desprez (H.). — *Cours de Travaux maritimes,* professé à l'École Nationale des Ponts et Chaussées par le Baron Quinette de Rochemont et M. Henry Desprez. Tomes I et II (2 volumes in-8°, 275 × 185 de 587 et de 487 p. avec 982 fig. et atlas même format de 18 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1901 (Don des auteurs). 41387 à 41389

Périodiques divers.

Annuaire de la Librairie Française. 8e année, 1901 (in-8°, 220 × 135 de xvi-464 p. avec 1 frontispice). Paris, H. Le Soudier, 1901. 41410

Routes.

Annuaire des Agents-Voyers. 1902. Cinquante-septième édition. Personnel (Annales des chemins vicinaux. 56e année. N° 9. Septembre 1901.) (In-8°, 215 × 135 de 148 p.). Paris, Paul Dupont, 1901. 41404

Sciences mathématiques.

Valat (A.) — *Tableaux des Moments d'inertie et des Poids de poutres métalliques,* calculés par le Bureau des Constructions métalliques de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, sous la direction de M. A. Valat (in-8°, 250 × 165 de 80 p.). Paris, Georges Carré et C. Naud, 1900 (Don de l'éditeur). 41400

Technologie générale.

Almanach Hachette. Petite Encyclopédie populaire de la vie pratique. Édition simple pour 1902 (in-16, 195 × 125 de 432-xcvi p. avec illustrations). Paris, Hachette et Cie, 1902. 41380

Description des Machines et Procédés pour lesquels des Brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie. *Publication in extenso 1899, 11e partie, 293 647 à 294 718* (in-8°, 250 × 160). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41413

École Nationale des Ponts et Chaussées. Collection de Dessins distribués aux Élèves. Légendes explicatives des planches. Tome IV. 4e fascicule. 30e livraison 1901, pages 147 à 220 (in-8°, 280 × 185 de 74 p. avec 12 pl. 360 × 275). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41384 et 41385

Exposition de Düsseldorf-sur-Rhin, 1902. Ouverture 1er mai ; clôture 20 octobre. Notice (une brochure 200 × 100 de 16 p.). Düsseldorf, A. Bagel, 1901. 41396

Grier (W.). — *The Mechanic's Calculator,* by William Grier (in-12, 175 × 105 de xvi-344 p.). Glascow, Blackie and Son, 1836 (Don de M. E. Nillus, M. de la S.). 41376

Grier (W.). — *The Mechanic's Pocket Dictionary,* by William Grier (in-12, 180 × 105 de iv-547 p.). Glasgow, Blackie and Son, 1837 (Don de M. E. Nillus, M. de la S.). 41377

GUIARD (E.-L.-A.). — *Cours théorique et pratique de Dessin industriel* composé conformément au Programme officiel des Écoles pratiques d'Industrie de garçons, par E.-L.-A. Guiard. *5e Partie, Éléments et Organes de Machines* (Enseignement primaire technique). (Album 325 × 250 de 25 pl., dont une en couleurs.) Angoulême, Guiard (Don de l'auteur, M. de la S.). 41365

Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. Comité des travaux historiques et scientifiques. Liste des Membres titulaires, honoraires et non résidants du Comité, des Correspondants honoraires et des Correspondants du Ministère de l'Instruction publique, des Sociétés savantes de Paris et des Départements (in-8°, 250 × 165 de 131 p.). Paris, Imprimerie Nationale, 1901. 41408

Robert's Mechanic's Assistant (in-16, 145 × 110 de 70 p.). London, Simpkin, Marshall and C°, 1837 (Don de M. E. Nillus, M. de la S.). 41378

Table générale des Matières contenues dans les neuf premières années de l'Almanach Hachette 1894-1902 (in-16, 195 × 125 de 32 p.). Paris, Hachette et Cie, 1902. 41381

Travaux publics.

Annuaire d'Adresses des Fonctionnaires du Ministère des Travaux publics, des Chemins de fer, de la Navigation, des Mines, de l'Industrie et des Banques, 1902 (in-12, 180 × 110 de 405 p.). Paris, au Bureau des huissiers du cabinet du Ministre. 41416

Annuaire des Conducteurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Contrôleurs des Mines. Personnel des Travaux publics, 1902. Cinquante-sixième édition. (Annales des Conducteurs et Commis des Ponts et Chaussées. 56e année. N° 22. Novembre 1901) (in-8°, 220 × 140 de 292 p.). Paris, Paul Dupont, 1901. 41419

Annual Reports of the War Department, for the fiscal year ended June 30th 1900. Report of the Chief of Engineers. Part 1 à 8 (8 volumes in-8°, 235 × 145). Washington, Government Printing Office, 1902 (Don de M. D. Bellet, M. de la S.). 41366 à 41373

Reiseberichte über Paris erstattet von den nachstehenden Beamten des Stadtbauntes- I. Verkehrswesen. Von Bau Inspector Paul Kortz. — *II. Marktwesen, Schulen, Bäder.* Von Bau-Inspector Hermann Beranek. — *III. Stadtregulierung und Gartenwesen.* Von Ober-Ingenieur Heinrich Goldemund. — *IV. Baupolizei, Theater, etc.* Von Bau- Inspector Alfred Greil. — *V. Canalisationswesen und Berieselungsanlagen.* Von Ingenior Josef Ruiss. — *VI. Strassenbau und Strassenpflege.* Von Bau- Inspector Alexander Swetz. *VII. Wasserversorgung und Beleuchtungswesen.* Von Ober Ingenieur dpl. Ing. Martin Paul (in-8°, 270 × 180 de xi-372 p. avec 111 fig. et 4 pl.). Wien, Paul Gérin, 1901 (Don de M. Paul Kortz.). 41391

Report of Board of Engineer Officers on Testing Hydraulic Cements, with Specifications for the several classes used by the Engineer Department (Professionnal Papers of the Corps of Engineer U.-S. Army. N° 28) (in-8°, 230 × 145 de 38 p.). Washington, Government Printing Office, 1901 (Don de M. D. Bellet. M. de la S.). 41374

Voies et Moyens de Communication et de Transport.

Annuaire de l'Administration des Postes et Télégraphes de France, pour 1901 Janvier 1901 (in-16, 240 × 155 de xx-168-360 p.). Paris, Paul Dupont, 1901. 41382

Bret. — *Note sur les Transports par camions automobiles*, par M. Bret (Annales des Ponts et Chaussées. Mémoires 1901, 2, n° 17, pages 59 à 107) (in-8°, 240 × 155 de 49 p.) (Don de l'auteur). 41379

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de décembre 1901, sont :

Comme Membres sociétaires, MM.

L.-C. Anger, présenté par MM. du Bousquet, Baudoux-Chesnon, Keromnès.
H.-G. Beuner, — Bachelier, Bohn, Tachard.
A. Cornuault, — Baudry, Salomon, Cornuault.
R.-L. Épron, — Journolleau, Le Marié, Romann.
R.-G. Guillery, — Baudry, Thomas, Werth.
E. Maillebiau, — Fougère, Le Marié, Rambaud.
E. Mera, — Mesureur, Bizet, Firminhac.
A. Révérand, — Rancelant, Serre, Wierre.

Comme Membres associés MM. :

A. Bloch, présenté par MM. Lippmann, Aimond, Péretmère.
L. Harant, — Appert, Biver, E. Bert.
E.-E. Lairez, — Brûlé, Fremont, Mauclère.

RÉSUMÉ
DES
PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES
DU MOIS DE DÉCEMBRE 1901

PROCÈS-VERBAL
DE LA
SÉANCE DU 6 DÉCEMBRE 1901

Présidence de M. Ch. Baudry, Président.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

M. Le Président dit qu'il a reçu trois lettres à l'occasion du procès-verbal de la dernière séance :

La première, de M. Duroy de Bruignac dans laquelle notre Collègue rappelle aux chercheurs, en les discutant, les desiderata principaux de l'aéronautique et les moyens déjà indiqués pour les atteindre ;

La seconde, de M. le comte de Chasseloup-Laubat, dans laquelle notre Collègue, en sa qualité de membre de la Commission chargée de décerner le prix Deutsch, fait connaître les arguments par lesquels il a été amené à conclure, avec la minorité de la Commission, que M. Santos-Dumont n'avait pas rempli les conditions du programme de ce prix ;

La troisième, de M. Carlos Sampaio par laquelle notre Collègue discute la question de savoir si le ballon *Santos-Dumont* est une copie du ballon *la France*, et se prononce formellement pour la négation.

Ces trois lettres seront insérées au *Bulletin* pour servir de documents en vue de la discussion qui doit se rouvrir, dans une prochaine séance, sur l'aéronautique.

Le procès-verbal de la séance du 22 novembre est ensuite adopté.

M. Le Président a le regret d'annoncer à la Société le décès de plusieurs de nos Collègues. Ce sont :

M. L. G. Bordes, Membre de la Société depuis 1891, Ingénieur-conseil en matière de propriété industrielle.

M. G. G. Lanier, ancien élève de l'École des Arts et Métiers d'Angers (1860), Membre de la Société depuis 1877, Ingénieur-conseil en matière de brevets d'invention ;

M. E. Viguerie, Membre de la Société depuis 1872, Ingénieur civil, s'est occupé principalement d'installations de sucreries.

M. le Président adresse aux familles de nos regrettés Collègues, l'expression des sentiments de condoléance de la Société.

M. Le Président a le plaisir d'annoncer les décorations et nomination suivantes :

M. A. Dutreux a été nommé Officier de l'Instruction publique ;

M. J. Henrivaux a été nommé Commandeur du Nicham Iftikar et décoré de l'Ordre de Sainte-Anne de Russie (1re classe) ; il a été, en outre, nommé Conseiller du Commerce extérieur de la France.

M. le Président adresse les félicitations de la Société à nos Collègues.

M. Le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance.

Cette liste sera insérée dans un prochain *Bulletin*.

M. Le Président a le plaisir d'annoncer qu'un de nos nouveaux Collègues, M. Maillebiau, dont l'admission doit être prononcée ce soir, a fait un don de 50 *f*.

Il lui adresse les plus vifs remerciements de la Société.

M. Le Président annonce qu'il a reçu de, l'Administration de l'Exposition de Dusseldorf, une lettre accompagnant l'envoi d'un certain nombre de brochures illustrées, relatives à cette Exposition, qui doit se tenir du 1er mai au 20 novembre 1902. Ces brochures, qu'il dépose sur le Bureau, sont à la disposition des Membres de la Société que cette Exposition peut intéresser.

M. Le Président dépose sur le Bureau un certain nombre de cartes qui lui ont été adressées par M. G. Rives, Commissaire général, Président du Comité d'organisation de la quatrième Exposition internationale de l'Automobile, du Cycle et des Sports, qui doit se tenir du 10 au 25 courant, au Grand Palais.

Ces cartes sont valables pour le jour de l'ouverture (10 décembre) et sont déposées au Secrétariat, à la disposition des Membres de la Société.

Le Ministère des Colonies nous a fait parvenir deux avis d'adjudication qui doivent avoir lieu le 24 courant, à Paris, 4, rue Jean-Nicot.

La première de ces adjudications se rapporte à la fourniture de boulons, rondelles et traverses métalliques pour la ligne de Vietri à Laokay (Tonkin).

La seconde a pour objet la fourniture de charpentes métalliques nécessaires à la construction d'un abattoir et d'un marché couvert à Majunga.

Le cahier des charges de ces deux adjudications se trouve au Ministère des Colonies (Inspection générale des travaux publics des colonies) ; à la Direction de l'Office national du Commerce extérieur, 3, rue Feydeau et à la Chambre de Commerce de Paris.

M. Le Président dit que l'Administration de l'Exposition nous a fait parvenir les médailles et diplômes commémoratifs pour une partie des classes où la Société a exposé et a été classée hors concours.

M. Le Président rappelle qu'à la séance du 19 novembre 1900 et à celle du 12 avril 1901, l'attention des Membres de la Société a été appelée sur l'œuvre entreprise par la Société des Ingénieurs Allemands pour arriver à la création d'un dictionnaire technique en trois langues : français, anglais et allemand.

M. le Président attire de nouveau l'attention de nos Collègues sur ce dictionnaire et les invite à collaborer à sa réalisation.

Il leur suffira pour cela de donner leur nom au Secrétariat de notre Société qui le fera parvenir aux Ingénieurs Allemands. Ces derniers se mettront directement en relation avec nos Collègues et leur feront parvenir tous les renseignements et documents nécessaires.

M. Le Président donne la parole à M. Auguste Moreau pour sa communication sur *les chemins de fer aux Indes Néerlandaises*.

M. A. Moreau expose que la longueur totale des chemins de fer, tant de l'État que privés, aux Indes néerlandaises (Java et Sumatra), était au 1er janvier 1899 de 2 052 *km* 1/2, plus 1 005 *km* de tramways à vapeur et 70 *km* de tramways militaires spéciaux également à vapeur.

1° *Chemins de fer de Java*. — A Java, les ponts sont presque exclusivement métalliques, en fer ou acier doux.

Les tabliers de 2 à 5 *m* de travée sont en poutrelles laminées, simples ou doubles selon la hauteur disponible.

Les tabliers de 6 à 10 *m* de travée sont à poutres rivées en tôle; ceux de 12 à 80 *m* de travée sont en treillis.

Les piles sont en général en maçonnerie, sauf pour les grandes hauteurs, pour lesquelles on a souvent préféré le métal pour la partie située au-dessus des grandes crues.

Les tabliers métalliques allant jusqu'à 10 et 12 *m* d'ouverture ont été pour la plupart assemblés aux ateliers se trouvant en général à l'origine de la ligne d'où est partie la pose de la voie.

Pour le montage des tabliers de portées supérieures à 10 *m* on a appliqué divers procédés suivant les circonstances ; soit par échafaudages provisoires en bois, soit par lancement.

Certains viaducs de plusieurs travées ont été lancés à de très grandes hauteurs au-dessus du sol; tel est le cas du viaduc de Tjitaroum qui présente une poutre continue de 162 *m* de longueur avec deux piles intermédiaires, le rail se trouvant à 64 *m* au-dessus du niveau de la rivière.

Les matériaux ont été généralement trouvés dans le pays, sauf la pierre de taille, faute des ouvriers spéciaux nécessaires. Le bois djatti a été employé avec succès, pour les traverses, les habitations présentant quelque caractère de durée, la carrosserie des wagons, etc.

Les indigènes de Java (Soudanais, Javanais Madurais, etc.) ont fourni la main-d'œuvre pour la construction des diverses lignes du réseau.

Des coolies chinois, race robuste et travailleuse, ont été employés pour les travaux pénibles; il y avait également beaucoup de charpentiers, peintres, menuisiers, etc., d'origine chinoise. Les écoles des métiers à Batavia, Samarang et Modjowarus, commencent à fournir des contremaîtres et des artisans instruits et pouvant rendre des services.

Le gouvernement des Indes néerlandaises a utilisé, dans les contrées

de Java où la population est peu dense, les forçats pour les travaux de chemins de fer et en a obtenu de bons résultats. D'une manière générale on a mis en pratique l'excellent système des petites entreprises et le travail en régie pour certains travaux spéciaux exigeant un soin particulier, comme la pose de la voie.

Les journées de travail étaient de 10 heures effectives.

Le salaire journalier du coolie indigène varie de 0, 80 *f* dans l'ouest de Java à 1 *f* dans l'est.

L'écartement normal mesuré entre les champignons des rails est de 1, 067 *m* en alignement ; ces lignes sont donc à voie étroite avec rail de 25, 7 *kg* à patin.

La houille employée provient de Sumatra (bassin de l'Ombilin) et revient à 35 *f* environ la tonne.

On compte sur la ligne 261 locomotives de 18 types différents, 568 voitures et 3 846 wagons portant 8 à 10 *t*.

La recette brute kilométrique est de 15 000 *f* environ et les frais d'exploitation de 8 240 *f*.

Le revenu moyen des capitaux engagés est de 4,5 0/0 le prix de premier établissement étant revenu à 160 000 *f* par kilomètre.

2° *Chemins de fer de Sumatra.* — Ces lignes sont particulièrement intéressantes, vu la nature accidentée du pays et l'emploi à grande échelle de la crémaillère du type Riggenback. Le problème était de relier le bassin houiller de l'Ombilin (altitude 260 *m*) à l'océan Indien, dont il est séparé par les chaines du Barisan (2 200 *m*). Il a donc fallu rechercher le col le plus propice par une ligne de 155 *km* pour rejoindre la capitale Padang et son port (Port-Emma), un embranchement de 55 *km* au nord relie au chemin de fer les centres commerçants de Fort-de-Korck et Payacombo ; la longueur totale de la voie ferrée est donc de 210 *km* dont 36 à crémaillère.

Les gares et stations sont toutes en palier, de manière à éviter la complication des appareils de la voie en crémaillère. Un tunnel de 826 *m* a dû être établi au départ, entre Lounto et Moura-Kalaban.

Les terrassements ont souvent été exécutés par la méthode fort ingénieuse de l'entrainement par les eaux.

Le bois djatti faisant ici défaut, la voie est entièrement métallique du système Post et a donné d'excellents résultats. Les traverses pour la voie à crémaillère sont un peu renforcées ; le rail a été porté à 40 *kg* dans le tunnel, pour combattre l'usure exceptionnelle.

La voie ordinaire pèse 105 *kg* par mètre courant et a coûté, déchargée à Port-Emma, 17,50 *f* soit environ 13,50 *f* en Europe (la traverse pèse 38 *kg*).

La voie à crémaillère pèse 187 *kg* et a coûté 51,20 *f* soit 43 *f* à l'usine d'Europe.

Les grands wagons à charbon de 10 et 20 *t* sont entièrement métalliques : fer ou acier doux, avec fond en dos d'âne ou en forme de selle de cheval pour faciliter le déchargement par les côtés en soulevant simplement des trappes disposées à cet effet. Ils amènent le charbon de la mine à l'étage supérieur du dépôt de Port-Emma où ils sont vidés sur une

aire en forme de toiture à double inclinaison comme leur propre fond ; cette mesure a pour but de permettre l'écoulement facile du charbon dans des wagons plus petits de 8 *t*, placés à l'étage inférieur et transportant leur chargement jusqu'au navire où ils se déchargent par le fond *(Sopper bottom)*.

Les parties métalliques des véhicules viennent d'Europe, le montage se fait dans les ateliers du Chemin de fer ainsi que la menuiserie, la carosserie. Tout le bois employé est du djatti provenant de l'île voisine.

Le prix de premier établissement est revenu à 200 000 *f* le kilomètre.

Les recettes kilométriques ont varié de 1894 à 1900 de 8 971 *f* à 13 503 *f* et la dépense d'exploitation correspondante de 5 468 *f* à 7 114 *f*. Rendement du capital, 3 0/0.

M. Moreau termine en annonçant qu'il pourra, dans une prochaine communication, parler des tramways de Java, et de la grosse question des chemins de fer en pays neuf, particulièrement de la main-d'œuvre aux colonies.

M. le Président remercie M. A. Moreau de sa très intéressante communication et donne la parole à M. L. Périssé, pour l'*Analyse d'un rapport de M. Sidersky sur l'industrie de l'alcool à l'Exposition de Halle (Saxe)*.

M. L. Périssé fait connaître que la Société a reçu de M. D. Sidersky, Secrétaire et Chimiste-conseil du Syndicat de la Distillerie agricole, un exemplaire du rapport qu'il a adressé à M. le Ministre de l'Agriculture, sur les *Emplois industriels de l'alcool* en Allemagne, à la suite de la mission dont il avait été chargé en juin dernier à l'Exposition agricole de Halle-sur-Saale.

Cet intéressant travail, qui vient compléter les renseignements apportés précédemment par M. Périssé à la Société, donne des indications qui, sans avoir un caractère nettement technique, ne sont pas moins intéressants à compulser, notamment : les statistiques de production de l'alcool par catégories de provenance, celles de consommation divisées en alcools de bouche, alcool à brûler dénaturé entièrement, alcools industriels dénaturés partiellement, etc., l'organisation de « l'Union Syndicale des distillateurs » et de la « Centrale pour la mise en valeur de l'alcool » à qui l'on doit le développement si spontané de l'alcool d'industrie en Allemagne, l'organisation de la vente de l'alcool dénaturé, grâce à laquelle le prix de vente est abaissé à 20 marks l'hectolitre rendu franco gare d'arrivée pour la force motrice, tandis que 26 000 dépôts d'alcool en bidons ont été créés, etc.

Toute une partie du rapport de M. Sidersky est consacrée à la catégorie des appareils d'éclairage : lampes Phébus, de Dresde ; lampe Auer, de Berlin ; lampe au Sabre de Schuchardt, de Berlin ; lampe Monopole, système Helft.

Le chauffage à l'alcool fait l'objet d'un chapitre spécial dans lequel sont décrits les principaux réchauds et brûleurs, notamment les systèmes Lang, Kindermann et autres.

Enfin la question de l'emploi de l'alcool pour la force motrice est exposée d'une façon complète, quoique résumée en ce qui concerne la description des appareils : des renseignements, puisés aux meilleures

sources, donnent des résultats d'expériences faites en Allemagne par M. Goslich, par MM. les professeurs Meyer et Musil, par M. Oelkers, etc., et ces résultats d'expériences des plus sérieusement faites viennent confirmer en grande partie les opinions émises par M. L. Périssé dans son mémoire de juillet dernier.

Les prix de revient du cheval-vapeur effectif obtenus par des locomobiles agricoles à vapeur, à alcool, à essence et à pétrole, sont ensuite indiqués et, les chiffres de M. D. Sidersky semblant se rapprocher de la réalité, il était intéressant de les faire connaître à la Société. Il faut constater que des chiffres complètent ceux que notre Collègue M. Arachequesne a apporté à la Société le 5 juillet dernier.

Prix de revient du cheval-heure effectif en Allemagne, en pfennigs, (d'après M. Sidersky) :

Locomobile à alcool.	13,99	pfennigs.
Locomobile à pétrole	14,65	—
Locomobile à vapeur	15,90	—
Locomobile à essence	17,95	—

Il ne faut pas oublier toutefois qu'en Allemagne l'alcool jouit d'avantages incontestables au point de vue industriel et c'est la raison majeure qui a provoqué le développement des moteurs à alcool, dont il existait, fin 1900, environ 260 exemplaires en service dans l'Empire allemand.

Les conclusions de M. Sidersky sont les suivantes :

1° La consommation d'alcool pour les usages domestiques et industriels s'est développée progressivement jusqu'à atteindre, aux dernières statistiques, 1 million d'hectolitres ;

2° Ce développement considérable est dû aux facilités de toutes sortes accordées par l'État, à l'abaissement considérable, à l'uniformité et à la stabilité du prix de détail de l'alcool dénaturé et, surtout, à l'activité et aux sacrifices de la Centrale ;

3° Il existe des lampes, réchauds et moteurs fonctionnant dans des conditions très pratiques et aussi économiques que le pétrole, à égalité de prix des deux combustibles.

Enfin, il faut mentionner que les annexes comprennent, notamment, la traduction du traité passé entre l'Union Syndicale des distillateurs et la Centrale, qui peut être fort utile à consulter.

Il importait de signaler à la Société des Ingénieurs Civils l'intéressant opuscule de M. Sidersky, qui est très sérieusement documenté et doit être lu par tous ceux qu'intéressent cette question, si passionnante et si brûlante d'actualité, de l'alcool industriel.

M. le Président adresse les remerciements de la Société à M. L. Périssé pour cette analyse fort intéressante, et donne la parole à M. Denayrouse pour sa communication relative aux *Progrès réalisés dans les applications industrielles de l'alcool (éclairage).*

M. L. Denayrouse expose que depuis 1898 les chiffres relatifs à la quantité d'alcool nécessaire pour produire une clarté d'une bougie-heure, ne se sont guère modifiés. On avait considéré alors qu'une dépense d'un centimètre cube était un simple résultat de laboratoire et pendant quelque temps les sceptiques, à cet égard, ont eu beau jeu.

Mais peu à peu on est parvenu à tourner la difficulté, soit par une meilleure construction des organes des lampes, soit surtout en employant l'alcool carburé. De sorte, qu'en résumé, pour les trois années:

D'une part, on a fait une réalité pratique de ce qui n'était qu'une espérance pour l'alcool pur ;

D'autre part, avec l'alcool carburé on a gagné cinquante pour cent sur la consommation en poids.

Simultanément, les progrès techniques ont été accompagnés d'améliorations considérables d'ordre économique dues, les unes à des mesures législatives favorables, les autres aux efforts privés des fabricants d'alcool. Tandis que le prix du pétrole restait stationnaire avec tendance à l'augmentation, le coût de l'alcool s'abaissait considérablement.

Somme toute, la nouvelle lumière a réduit son coût, de *moitié* quand on emploie de l'alcool dénaturé, et des *trois quarts* quand on a recours à l'alcool carburé.

Quant aux dépenses d'entretien, tout le monde comprend à quel point elles sont réduites avec l'alcool par la suppression des usines et des canalisations nécessaires, en usage pour les éclairages collectifs.

Les techniciens de l'alcool, qui ont à peu près fini ce qu'ils avaient à faire pour créer un bon éclairage domestique, vont avoir maintenant à compléter les systèmes qui permettront de faire le service des agglomérations. Il semble impossible que, sous la pression légitime des agriculteurs de chaque région, une certaine place ne soit pas bientôt faite à l'alcool, pour l'éclairage urbain des centres les plus voisins.

L'expérience du passé a montré qu'il fallait savoir être éclectique en matière d'éclairage. Pour ceux qui en ont besoin, la lumière, qu'elle soit produite par le gaz, l'électricité, l'acétylène ou le pétrole, est une marchandise absolument une, et le consommateur cherche toujours à l'obtenir commodément et à bon marché.

Il est à souhaiter que les grandes industries de lumière fassent, à temps, de l'alcool un auxiliaire, comme le gaz l'a fait de l'électricité, après de trop longues tergiversations.

M. P. Regnard dit qu'il ne lui semble pas que l'emploi de l'alcool dans l'éclairage soit aussi jeune que l'a dit M. Denayrouze, qui fait remonter à quatre ans cet emploi. Dans les cours de chimie, dès 1860, on faisait déjà remarquer la différence qui existait entre la flamme de l'alcool pur, presque pas éclairante, et celle de l'essence de térébenthine, très fuligineuse; et, de la réunion de ces deux produits, on obtenait un éclairage magnifique, connu sous le nom d'éclairage Robert; la source calorifique était l'alcool, et la matière éclairante était, comme dans l'éclairage à l'acétylène, fournie par les particules de charbon. M. Regnard s'étonne du peu de développement de cet éclairage, peut-être à cause du prix exagéré de l'alcool à cette époque; il pourrait être repris aujourd'hui, parce que c'est un moyen remarquablement simple de produire un éclairage très beau à un prix qui, maintenant, devrait être très minime.

M. Regnard exprime le vœu que M. Denayrouze donne autrement que par une énumération de résultats, un aperçu des moyens par les-

quels ces résultats sont obtenus, c'est-à-dire un croquis de l'ancienne et de la nouvelle disposition de ses brûleurs, différentiant les divers appareils qui viennent d'être présentés.

M. Denayrouze dit qu'il a deux choses à répondre à son honorable Collègue : d'abord, que l'éclairage à l'alcool carburé et à l'essence de térébenthine, à l'époque indiquée, devait être employé probablement à flamme libre ; on ne connaissait pas l'incandescence, on n'avait pas le manchon de M. Auer, et, par conséquent, on dépensait plus ; tandis que l'incandescence a réduit, dans des proportions tout à fait énormes, cette dépense.

Ensuite, M. Denayrouze, en ce qui concerne la construction des appareils présentés, dit qu'il n'a pas voulu faire devant la Société des Ingénieurs Civils un cours sur ses appareils et sur ceux de la Société qu'il représente. Il a voulu seulement rendre compte des progrès constatés lors de la dernière Exposition.

M. le Président remercie M. Denayrouze de sa très intéressante communication et donne la parole à M. D.-A. Casalonga sur : *Une nouvelle application des plates-formes roulantes, à traction électrique, pour le transport des voyageurs, dans Paris; particulièrement de la place de la Concorde à celle de la Bastille, par les grands boulevards.*

M. D.-A. Casalonga explique comment les *plates-formes roulantes*, appliquées de manières diverses, mais toujours à découvert, ou en l'air, aux Expositions de Chicago (1893), de Berlin (1896), de Paris (1900), peuvent être appliquées, avec succès, en tunnel plus ou moins profond, pour effectuer le transport en commun des voyageurs.

Il compare le système qu'il présente aux autres moyens de transport connus et montre quels seraient les avantages qu'offrirait une ligne établie. d'après son système, à Paris, par exemple entre la place de la Concorde et celle de la Bastille en passant par les grands boulevards. Seules les *plates-formes roulantes* pourraient, grâce à leur capacité de transport presque indéfinie, éviter tout encombrement.

M. le Président remercie M. Casalonga de son intéressante communication.

MM. L.-C. Anger, H.-G. Beuner, A. Cornuault, R.-L. Epron, R.-G. Guillery, E. Maillebiau, E. Méra, A. Révérand, sont reçus sociétaires, et

MM. A. Bloch, L. Harant et E.-E. Lairez membres-associés.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. R. Algrin, A. Auclair, A.-L.-E. Basteau, Ch.-H. Claudel, Ch. Haller. P.-E.-F. Gontier, F. Lary, J.-P.-E. Liet, H. Neuburger, M.-H. Robinson, J.-P. Vignes et A.-G.-G. Wales, comme membres-sociétaires.

La séance est levée à 11 heures et demie.

Le Secrétaire,
Marcel Delmas.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 20 DÉCEMBRE 1901

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

Présidence de M. Ch. Baudry, Président.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

La Société étant réunie en Assemblée générale, conformément à l'article 17 des statuts, M. L. de Chasseloup-Laubat, Trésorier, a la parole pour la lecture de son rapport annuel sur la situation financière semestrielle. Il s'exprime ainsi :

SITUATION AU 30 NOVEMBRE 1901

Messieurs,

Le 1er décembre 1900, les Membres de la Société étaient au nombre de.	3 638
Du 1er décembre 1900 au 30 novembre 1901, les admissions ont été de	172
formant un total de.	3 810
Pendant le même laps de temps, la Société a perdu . . . . . soit 67 décès et 52 démissions et radiations.	119
Le total des Membres de la Société au 30 novembre 1901 est ainsi de	3 691
Il a donc augmenté, pendant l'année, de.	53

Cette augmentation finale, inférieure de plus de 100 à la moyenne des 5 années qui viennent de s'écouler tient à deux causes, savoir :

D'une part, le nombre relativement faible des nouvelles *Demandes d'admission* qui nous sont parvenues cette année; et le nombre. au

contraire, assez considérable de décès et surtout de démissions et de radiations que le Comité a dû accepter ou prononcer d'office.

La répercussion de ce nombre restreint d'admissions s'est naturellement fait sentir sur le résultat de notre exercice, parce que les cotisations correspondantes représentant plus de 6 000 *f* n'ont pas été encaissées.

A cette différence, vient s'ajouter celle que nous constatons sur la moyenne de nos *Exonérations;* 3 Membres seulement se sont, en effet, exonérés cette année, alors que la moyenne est de 10, ce qui représente en moins 4 200 *f*, soit ensemble, avec les admissions, une différence de plus de 10 000 *f*.

Cette diminution doit être attribuée, très probablement, au ralentissement de l'industrie et aux crises financières qui ont sévi plus ou moins sur les diverses nations du globe, les Etats-Unis exceptés. Nous en avons une autre preuve dans la difficulté qu'il y a eu pour recouvrer nos cotisations ordinaires.

Le Bilan au 30 novembre 1901 se présente comme suit :

L'Actif comprend :

1° Le Fonds Inaliénable	Fr.	274 582,30
2° Les Espèces en caisse		4 831,55
3° Les Débiteurs divers.		58 342,31
4° Les Valeurs amortissables		2 500 . »
5° La Bibliothèque		11 000 »
6° L'Immeuble nouveau		1 095 026,25
Total.	Fr.	1 446 282,41

Le Passif se compose de :

1° Les Créditeurs divers.	Fr.	50 288 45
2° Les Prix divers de 1902 et suivants.		10 539,55
3° L'Emprunt.		600 000 »
4° Les Coupons échus et à échoir.		14 533,25
5° Le Fonds de secours.		1 774,20
6° Les Travaux en cours sur l'immeuble.		6 120 »
	Fr.	683 255,45
Avoir de la Société.		763 026,96
Total	Fr.	1 446 282,41

BILAN AU 30 NOVEMBRE 1901

ACTIF

1° Fonds inaliénable :		
a. Legs Meyer (nue propriété) . . . . Fr.	10 000 »	
b. Legs Nozo, 19 obligations du Midi	6 000 »	
c. Legs Giffard, 131 » »	50 372,05	
d. Fondation Michel Alcan, 1 titre de rente 3 0/0.	3 730 »	
e. Fondation Coignet » »	4 285 »	
f. Fondation Couvreux, 11 obligations du Midi. .	4 857,75	
g. Don anonyme	6 750 »	
h. Legs Roy	873,50	
i. Legs de Hennaü.	96 982,50	
j. Legs Gottschalk.	10 000 »	
k. Legs Huet	67 119 »	
l. Legs Mayer	13 612,50	
		274 582,30
2° Caisse : Solde disponible . . . . Fr.		4 831,55
3° Débiteurs divers :		
Cotisations 1901 et années antérieures (après réduction d'évaluation de 50 0/0)	14 239 »	
Obligations, banquiers et comptes de dépôt . .	42 969,31	
Divers.	1 134 »	
		58 342,31
4° Valeurs amortissables. . . . . Fr.		2 500 »
5° Bibliothèque : Livres, catalogues, etc.		11 000 »
6° Immeuble :		
Mobilier ancien . . . . Fr.	6 500 »	
Terrain et frais.	398 660,30	
Terrasse	10 108 »	
Maçonnerie, sculpture, marbrerie	171 346,20	
Charpente, fer et bois	131 011,19	
Ascenseur, monte-charges, plancher mobile. . .	19 820,95	
Canalisation, pavage et divers	12 133,36	
Couverture et plomberie.	29 437 »	
Fumisterie.	30 454,35	
Serrurerie	58 163,73	
Menuiserie, parquets	64 733,69	
Peinture, vitrerie.	35 244,60	
Installation gaz et électricité, appareillage . . .	39 136,08	
Ameublement et matériel.	48 662,59	
Divers Hôtel.	2 090 »	
Honoraires.	31 404,21	
Travaux Immeuble	6 120 »	
		1 095 026,25
Fr.		1 446 282,41

PASSIF

1° Créditeurs divers :		
Impressions, planches, croquis, divers travaux en cours . . . . Fr.	1 500 »	
Créditeurs divers.	48 788,45	
		50 288,45
2° Prix divers 1902 et suivants :		
a. Prix Annuel. . . . . Fr.	Mémoire.	
b. Prix Nozo.	547,20	
c. Prix Giffard 1899, prorogé 1902	5 000 »	
d. Prix Giffard 1902	3 772,80	
e. Prix Michel Alcan	117,20	
f. Prix François Coignet	177,15	
g. Prix Alphonse Couvreux	475,20	
h. Prix Gottschalk	450 »	
		10 539,55
3° Emprunt . . . . Fr.		600 000 »
4° Coupons échus et à échoir :		
N° 6. Échéance du 1er janvier 1899 . Fr.	8,95	
N° 7. — 1er juillet 1899	8,95	
N° 8. — 1er janvier 1900 . . .	121,35	
N° 9. — 1er juillet 1900	309,80	
N° 10. — 1er janvier 1901 . . .	291,85	
N° 11. — 1er juillet 1901	2 786,85	
N° 12. — 1er janvier 1902. . . .	11 005,50	
		14 533,25
5° Fonds de secours . . . . Fr.		1 774,20
6° Immeuble. Travaux en cours sur ledit . . . . Fr.		6 120 »
Fr.		683 255,45
Avoir de la Société.		763 026,96
Fr.		1 446 282,41

Nous allons maintenant passer en revue, rapidement, les divers chapitres de ce Bilan.

ACTIF.

Le *Fonds inaliénable* s'est accru, par suite de l'encaissement du legs Mayer, d'une somme de 13 612,50 *f* provenant, pour 13 300 *f*, du montant du legs, défalcation faite des frais, et, pour le surplus, d'une soulte en espèces que la Société a versée en vue de lui permettre d'acheter un certain nombre d'obligations.

En ce qui concerne la fondation due à la famille Schneider, les autorisations administratives et gouvernementales, que nous attendons depuis plus d'un an, ne nous sont pas encore parvenues, malgré nos démarches pressantes. Des renseignements que nous avons pris, il résulte que les réglementations sur ce chapitre ayant subi des modifications, la Préfecture de la Seine a cru devoir retarder la solution à nous donner.

Les comptes *Caisse*, *Valeurs amortissables*, *Bibliothèque*, n'appellent aucune observation.

Vous remarquerez au compte *Débiteurs divers*, la somme relativement élevée représentant les Cotisations de 1901, et années antérieures, qui nous restent encore dues.

Ce chiffre, après réduction de 50 0/0, est encore supérieur de près de 6 000 *f* à celui de l'année dernière.

Nous allons, sur ce Compte, vous demander, dans quelques instants, de bien vouloir prendre une résolution.

Enfin, le compte *Immeuble* a subi une légère augmentation de 2 500 *f*, provenant d'une partie des Travaux et Compléments, Modifications et Revisions, qui ont été autorisés au cours de l'exercice par votre Comité, et exécutés pendant les vacances.

PASSIF.

Si nous examinons le passif, nous constatons que le compte *Créditeurs divers* a subi une réduction d'environ 3 000 *f*.

Les comptes *Prix divers*, *Emprunt*, *Fonds de secours* n'appellent aucune observation.

Le montant des *Coupons à payer* en 1902, y compris celui venant à échéance le 1er janvier, a subi aussi une réduction d'environ 3 000 *f*.

Enfin, le compte *Immeuble-Travaux en cours*, a subi également une diminution d'environ 4 000 *f*.

En résumé, notre Actif s'est augmenté, au cours de l'exercice, d'un peu plus de	Fr.	13 000 »
Et notre passif, au contraire, a diminué d'environ. . .		10 000 »
Soit une différence au total, d'environ.	Fr.	23 000 »

En effet, notre avoir, au 30 novembre 1901, est de. Fr.	763 026,96
alors qu'il était, au 30 novembre 1900, de.	739 770,07
L'augmentation, au cours de l'exercice, a donc été de. .	23 256,89
Mais il y a lieu de remarquer que dans ce chiffre le legs Mayer figure pour.	13 300 »
L'augmentation réelle est donc de. . . . . Fr.	9 956,89

C'est là un chiffre inférieur à la moyenne des années qui viennent de s'écouler et, dans une certaine mesure, à nos prévisions.

Lés causes en sont, du reste, faciles à déterminer.

1° Le nombre restreint des Membres reçus au cours de l'exercice;

2° L'augmentation due aux *Impôts* (frais de voirie, contributions, timbre et enregistrement), que nous avions prévue, cependant, dans une large mesure, en établissant notre budget de l'année dernière, mais qu'il nous était difficile de chiffrer exactement, parce qu'à cette époque les lois financières de la Ville et de l'État, n'avaient pas encore été promulguées.

Depuis 1898, en effet, ces Impôts ont passé de 5 981 à 13 145,30 *f*, soit une augmentation de 7 503,90 *f*.

J'ajouterai que, si les impôts qui nous frappent doivent indéfiniment augmenter, nous pourrions, à un moment donné, être très en peine d'équilibrer notre budget.

Enfin, nous avons eu aussi à supporter, au cours de l'exercice 1901, un versement de 3 000 *f*, fait au Conservatoire des Arts et Métiers, à titre de subvention et provenant de l'exercice précédent de 1900. au cours duquel elle avait été votée.

Il est, par suite, nécessaire que nous établissions nos prévisions. pour l'exercice qui commence, de la façon la plus nette possible, en ne faisant état, dans notre Bilan, que des sommes dont le recouvrement est absolument certain.

Nous croyons donc qu'il serait sage de ne pas faire état, des cotisations antérieures à 1901, restant dues par les Membres retardataires, et dont le recouvrement est assez problématique, et, par suite, de passer immédiatement, par Profits et Pertes, le montant s'en élevant, après réduction de 50 0/0 à . . . . Fr. 6 859 »

En outre, afin de faire figurer, dans notre Bilan, notre immeuble pour une valeur plus rapprochée de sa valeur réelle — nous ne dirons même pas sa valeur marchande — il importe de le débarrasser des des sommes que nous y avions laissé figurer jusqu'à présent, mais qui, en réalité, étaient des *Comptes de Premier Établissement représentant des débours n'ayant pas augmenté la valeur proprement dite de cet immeuble.*

Les suppressions ou réductions pour lesquelles nous vous demandons, d'accord avec votre Comité, votre approbation, sont contenues dans la résolution suivante :

« L'Assemblée décide que :

» 1° Le *Montant des cotisations arriérées antérieures* aux » années 1900 et 1901, s'élevant à . . . . Fr.	6 859 »
» 2° Le montant des comptes *Honoraires* et *Divers Hôtel*, » s'élevant ensemble à.	33 494,21
» 3° Une réduction, au chapitre *Terrain et Frais*, du mon- » tant des frais d'achat s'élevant à. . . . . Fr.	29 500 »
» 4° Une réduction d'environ 10 0/0 sur le montant des » évaluations provenant des débours successifs faits depuis » le commencement de la construction de l'immeuble, sur » les comptes suivants : » *Mobilier ancien*; — *Terrasse*; — *Maçonnerie*, *Sculpture*, » *Marbrerie*; — *Charpente fer et bois*; — *Ascenseur*, *Monte-* » *charges*; — *Canalisation*, *Pavage et Divers*; — *Couverture et* » *Plomberie*; — *Fumisterie*; — *Serrurerie*; — *Menuiserie*, *Par-* » *quets*; — *Peinture*, *Vitrerie*; — *Installation Gaz et Electri-* » *cité*, *Appareillage*; — *Ameublement et Matériel*	65 000 »
» 5° Une réduction sur le montant de la valeur du plan- » cher mobile et accessoires de	30 000 »
» Ensemble. . . . . Fr.	164 853,21

» seront immédiatement passés par le compte *Profits et Pertes*. »

Ce faisant, nous pourrons estimer que nous avons pris les mesures les plus larges et les plus sages tant en prévision des diminutions ou difficultés de faire rentrer les sommes qui nous sont dues, au cours de l'exercice qui va s'ouvrir, qu'au point de vue de la sauvegarde de nos intérêts légitimes.

M. le Président demande si quelqu'un a des observations à présenter ou des demandes à faire au sujet des comptes qui viennent d'être présentés.

Personne ne demandant la parole, M. le Président met aux voix ;

1° L'approbation des comptes.

Les comptes sont approuvés à l'unanimité.

2° L'approbation de la résolution proposée par M. le Trésorier, d'accord avec le Comité.

Cette résolution est adoptée à l'unanimité.

M. le Président dit qu'il est certain d'être l'interprète des Membres de la Société tout entière en remerciant chaleureusement M. le Trésorier pour les soins qu'il apporte dans la gestion de nos finances.

On ne peut que le féliciter d'avoir pris l'initiative des mesures sages et prudentes que l'Assemblée générale vient d'adopter.

Il est ensuite procédé aux élections des Membres du Bureau et du Comité pour l'Exercice 1902.

Ces élections ont donné les résultats suivants :

BUREAU

Président : **M. Mesureur, Jules.**

Vice-Présidents :

MM. Salomon, L.
Bodin, P.
Couriot, H.
Coiseau, L.

Secrétaires :

MM. Courtois, G.
Périssé, L.
Bel, J.-M.
Delmas, Marcel.

Trésorier : M. de Chasseloup-Laubat, L.

COMITÉ

MM. Arbel, P.
Jannettaz, P.
Bougenaux, E.
Joubert, L.
Soreau, R.
Hillairet, A.
Gallois, Ch.
Fouché, Ed.
Brulé, H.
Moreau, A.
Baignères, G.
Chevalier, H.

MM. Vigreux, Ch.-A.
Cornuault, E.
Casalonga, D.-A.
Chaperon, Ch.
Pettit, E.
Brousse, L.
Bochet, A.
Harlé, E.
Lavezzari, A.
Lencauchez, A.
Ferré, A.
Reynaud, G.

La séance est levée à 11 heures trois quarts.

Le Secrétaire,
R. Soreau.

LES

PROGRÈS DE LA NAVIGATION AÉRIENNE

ET LES

EXPÉRIENCES DE M. SANTOS-DUMONT (1)

PAR

M. ARMENGAUD Jeune

I

Préambule.

Des coteaux de Saint-Cloud, j'ai pu, cet été, suivre la plupart des expériences de M. Santos-Dumont et j'ai eu la bonne fortune d'assister à l'épreuve décisive qui lui a fait gagner le prix dû à la libéralité de M. Deutsch. Ce n'était pas seulement la curiosité qui m'avait poussé à m'intéresser aux tentatives du jeune et audacieux aéronaute brésilien, mais, ayant été pendant de longues années Membre et Vice-Président de la Société de Navigation aérienne fondée par mon regretté ami M. le docteur Hureau de Villeneuve, je ne pouvais pas rester indifférent aux efforts nouveaux et persévérants qui étaient faits vers la solution du problème de la direction des aérostats.

C'est à ce double titre que j'ai été sollicité par plusieurs de nos Collègues et encouragé par notre sympathique Président à traiter devant vous une question qui, en dehors du mérite de l'actualité, offre celui d'être entrée dans une phase qui ne peut manquer de fixer l'attention des ingénieurs.

Au surplus, grâce aux communications qui ont déjà été faites sur ce sujet à la Société par certains de nos Collègues, qui se sont plus particulièrement occupés de l'aéronautique et surtout aux intéressants mémoires qui vous ont été présentés par M. Duroy de Bruignac puis par M. Soreau sur la question de la direction des aérostats, vous êtes déjà au courant des progrès accomplis jusqu'à l'année 1884 à laquelle ont eu lieu les célèbres expériences de MM. Renard et Krebs. Leur ballon *la France* doit être considéré comme le premier des aérostats qui se soient dirigés sérieusement dans les airs pour revenir au point de départ.

(1) Voir le bulletin de novembre 1901, pages 734 à 755.

L'épreuve que vient de faire M. Santos-Dumont dans des conditions toutes particulières de difficultés, c'est-à-dire en remplissant un programme dont personne ne conteste le caractère ardu et périlleux, aurait certainement fourni l'occasion à un des auteurs des communications que je rappelais à l'instant de vous entretenir des travaux de M. Santos-Dumont, si l'un d'eux avait eu comme moi l'avantage d'en constater les résultats et *de voir de ses propres yeux* les évolutions multiples et variées de l'aérostat, surtout le jour où il a réussi à toucher le but fixé dans le délai assigné par le programme du concours ouvert par l'Aéro-Club.

A défaut de la compétence spéciale de mes Collègues sur la matière, c'est-à-dire dans la science proprement dite de l'aéronautique, comme de l'avis de tous, c'est le moteur qui a joué le rôle le plus important dans le succès qu'a remporté M. Santos-Dumont et que l'étude des moteurs à mélange tonnant a été de ma part l'objet d'études constantes, j'ai pensé qu'à ce point de vue surtout je pourrais exposer ma manière de voir sur l'application de ce genre de machines à la direction des aérostats.

C'est dans cet ordre d'idées que je me propose d'examiner devant vous les expériences de M. Santos-Dumont et de montrer l'influence qu'elles peuvent exercer sur la question de la navigation aérienne.

Personne ne refuse au vaillant lauréat du prix Deutsch l'admiration qui est due à sa laborieuse ténacité et à son indomptable courage, mais en se plaçant sur le terrain purement technique, il y a lieu de rechercher la contribution que ses tentatives ont apportée à la solution du problème de la conquête de l'air. Aussi bien entre l'enthousiasme quelquefois exagéré des uns et le dénigrement systématique des autres au sujet du progrès que ces expériences ont fait faire à la science, il y a place pour une appréciation plus juste, plus approchée de la vérité, et c'est cette appréciation que je me propose de vous soumettre aujourd'hui.

Voici l'ordre que je suivrai dans ma communication.

Je décrirai tout d'abord les expériences de M. Santos-Dumont, puis rappelant brièvement les tentatives de ses devanciers, j'insisterai tout particulièrement sur les expériences de MM. Renard et Krebs en 1884 et 1885 C'est surtout en prenant les résultats acquis par ces savants officiers que je discuterai les résultats obtenus par M. Santos-Dumont.

A cet effet, j'analyserai les circonstances de la dernière épreuve du 19 octobre, je déterminerai par approximation la vitesse propre de l'aéronef de M. Santos-Dumont et je comparerai cette vitesse avec celle que le calcul permet de déduire des équations établies par M. Duroy de Bruignac et des formules expérimentales du colonel Renard.

Je traiterai ensuite la partie mécanique et m'attachant surtout au moteur, je vous communiquerai les résultats de l'enquête que j'ai faite auprès des principaux constructeurs pour avoir des données précises sur le degré de légèreté que l'on peut atteindre par rapport à la puissance effective ; je terminerai en indiquant les règles pratiques à suivre pour la construction d'un aéronef, c'est-à-dire d'un aérostat dirigeable.

II

Expériences de M. Santos-Dumont.

La presse qui, au fur et à mesure, a fait connaître au monde entier les expériences de M. Santos-Dumont, et raconté dans les plus grands détails ses différentes excursions aériennes, me dispense d'en reprendre le récit. Mais il est indispensable, surtout en ce qui concerne la dernière, qui a été concluante, de vous indiquer les principales circonstances du parcours effectué dans la journée du 19 octobre, avec un succès dont le retentissement n'est pas encore éteint.

Je donnerai d'abord la description de l'aérostat qui est représenté en coupe longitudinale sur la planche 14, annexée à ce mémoire. Le dessin m'a été fourni par M. Santos-Dumont lui-même et j'en emprunte les données pour les dimensions et les poids à un travail de M. Emmanuel Aimé qui, pour la construction de l'appareil, a été le dévoué collaborateur du vainqueur du concours de l'Aéro-Club.

L'aérostat de l'épreuve du 19 octobre est le sixième modèle construit par M. Santos-Dumont, mais, en réalité, avant ce dernier, ce sont seulement les modèles 4 et 5 qui ont eu un caractère sérieux de construction mécanique. C'est à la suite des accidents que l'on connait que M. Santos-Dumont a dû faire construire le n° 6 en y apportant quelques modifications et améliorations suggérées par ses expériences précédentes.

Dans ses trois derniers modèles, le ballon a affecté la forme

d'un fuseau ou mieux d'un cigare; celui de l'épreuve est un cylindre de 6 *m* de diamètre, se prolongeant par deux cônes, le tout ayant une longueur de 33 *m*. Son tonnage est de 600 m^3 et il déplace 800 *kg* d'air. En retranchant de ce nombre le poids de l'enveloppe (120 *kg*), du moteur (98 *kg*), des 622 m^3 d'hydrogène (120 *kg*), de l'aéronaute (50 *kg*) et de divers accessoires et agrès, il reste 150 *kg* pour le lest de sûreté. L'enveloppe adoptée par M. Lachambre, le constructeur du ballon, est en soie du Japon, très solide, très blanche et translucide : elle est imperméabilisée par cinq couches d'huile de lin. A l'intérieur de l'aérostat, et cousu à la partie inférieure de l'enveloppe, en son milieu, est placé un ballonnet de 60 m^3 de capacité, alimenté d'air par un ventilateur et destiné à compenser les variations de volume de l'hydrogène du ballon, c'est-à-dire assurer la permanence de sa forme.

A la partie inférieure sont trois soupapes, une pour le ballonnet et deux pour le ballon, s'ouvrant automatiquement du dedans au dehors sous la pression de l'hydrogène. Elles ont un diamètre de 19 *cm* et une surface de 280 cm^2. Leurs ressorts sont réglés de façon que la soupape du ballonnet s'ouvre la première pour donner issue à l'air et que les soupapes du ballon puissent perdre de l'hydrogène ultérieurement, si cela est nécessaire.

La soupape du ballonnet résiste à une pression totale de 450 *g* et chacune des soupapes du ballon à une pression de 600 *g*.

La nacelle, le moteur, l'hélice et son arbre sont portés par une poutre armée suspendue au ballon par des fils en acier, tels que ceux qui sont employés dans la construction des pianos. Pour la structure de cette poutre, M. Santos-Dumont s'est inspiré de celle du ballon *la France*, mais elle est composée de trois perches au lieu de quatre qui sont entretoisées, et elle présente en sa section transversale une forme triangulaire au lieu de quadrangulaire. Par cette construction simple et facile, elle permet de prendre des points d'attache sur toute la longueur et de répartir à l'infini les charges ou l'installation des engins mécaniques. Dans le *Santos-Dumont n° 6*, elle supporte un moteur à essence fourni par M. Buchet, dont la puissance normale de 16 *ch* pouvait à la rigueur être accrue jusqu'à 18 *ch* et dont le poids s'est augmenté par rapport au *Santos-Dumont n° 5* de celui d'un réservoir d'eau et d'un radiateur pour le refroidissement des culasses; les quatre cylindres qui sont à refroidissement par ailettes ont un alésage de 84 *mm* et une course de 90 *mm*. C'est par une

innovation heureuse que M. Santos-Dumont, renonçant au filet et à la housse du ballon dirigeable décrit par Giffard, a fixé ses fils de suspension en acier directement sur l'étoffe du ballon par l'intermédiaire de bâtonnets, de 15 *cm* de longueur, logés dans un ourlet cousu suivant une ligne voisine de la génératrice équatoriale du ballon.

La nacelle d'osier est encastrée dans la légère structure de la poutre armée à une distance de 3,60 *m* de l'extrémité de cette poutre, ce qui augmente la distance du moteur à la place occupée par l'aéronaute. M. Santos-Dumont a obtenu ainsi, avec une meilleure répartition des charges, l'inclinaison voulue de l'axe du ballon dans le sens utile à la montée, à la descente ou à l'équilibre de la masse en mouvement sous l'action de l'hélice.

Celle-ci a 4 *m* d'envergure, un pas de 4 *m* et une surface à l'air de 2 m^2. Son effort dynanométrique, mesuré au point fixe, a été 70 à 75 *kg*, pour une vitesse de rotation de 200 tours environ par minute. Le moteur tournant à une vitesse beaucoup plus considérable, la réduction est obtenue par deux engrenages avec des nombres de dents dans le rapport convenable.

Le gouvernail, de forme triangulaire, est placé en dessous de la partie arrière et rattaché d'un côté à l'étoffe et d'un autre côté à des tendeurs en fil d'acier reliés par des ressorts en caoutchouc à une bague montée sur billes fixée sur l'arbre de l'hélice.

Pour les manœuvres de mouvement vertical et d'équilibre aussi délicates que fondamentales et nouvelles, M. Santos-Dumont, comme le fait remarquer justement M. Emmanuel Aimé, a fait l'économie du contrepoids mobile représenté par des sacs de l'est dans ses essais antérieurs à 1901, en utilisant le guide-rope relativement lourd, pendu à l'avant du ballon, et en le ramenant suivant le besoin par des cordelettes de rappel vers le centre de gravité du système.

Pour compléter cette description, il faut ajouter que M. Santos-Dumont paraît avoir fait pour la première fois l'application à un ballon dirigeable d'un lest liquide. A cet effet deux réservoirs en cuivre jaune, très mince, d'une contenance totale de 45 *l* remplis d'eau, sont placés entre le moteur et l'hélice et munis de deux robinets qui peuvent être ouverts ou fermés de la nacelle par l'intermédiaire de deux longs fils d'acier.

Il serait trop long, et d'ailleurs cela n'est pas nécessaire, d'entrer dans les détails de la construction du moteur construit par M. Buchet qui est suffisamment connu. Il repose, comme tous les

moteurs du même genre, Daimler, de Dion, Panhard et Levassor, Mors, etc., sur le principe du cycle à quatre temps et s'en distingue par quelques dispositifs particuliers, notamment par le mécanisme de commande des soupapes d'échappement. Le carburateur adopté par M. Buchet est du type Longuemare et sans vouloir déprécier le mérite de ce système qui est emprunté au système Maybach-Daimler, je doïs dire que sa disposition à niveau constant se prête mal à son application aux aérostats. C'est en effet au carburateur, ainsi qu'à un graissage imparfait, qu'il faut attribuer les irrégularités et même les arrêts du moteur dans les différentes expériences de M. Santos-Dumont. Il serait préférable d'adopter pour la carburation un robinet distributeur dans le genre de celui adopté par M. Brillié.

C'est du panier, formant à proprement parler sa nacelle, que M. Santos-Dumont conduisait la marche du moteur, actionnait le gouvernail, déplaçait le guide-rope, commandait les soupapes du ballonnet et du ballon, enfin jetait le lest au moment voulu; on comprend que ces opérations multiples l'absorbaient suffisamment pour l'excuser de ne pas avoir songé à faire des mesures de vitesse ou de pression barométrique pendant ses audacieuses ascensions.

Aperçu des différentes tentatives de M. Santos-Dumont depuis son « ballon n° 1 » jusqu'au « Santos-Dumont n° 6 » qui a battu le record des aérostats dirigeables.

Il n'y a pas lieu de s'arrêter sur les premiers essais jusqu'au *Santos-Dumont n° 4*..C'est avec le *Santos-Dumont n° 5* que commencent les essais vraiment sérieux.

« Santos-Dumont n° 5 » Ascensions du 12 juillet au 8 aout.

Dans la journée du 12 juillet, de 4 h. 30 du matin à 6 heures, il effectue plusieurs fois le tour de Longchamps, formant un ensemble de près de 35 *km*. A 7 h. 10 il se dirige vers la tour Eiffel, un accident de gouvernail l'oblige à faire escale dans les jardins du Trocadéro. Il remonte après avoir réparé l'avarie, double la tour Eiffel, met le cap sur les coteaux de Saint-Cloud, passe la Seine par 200 *m* d'altitude et ramène son navire aérien à son port d'attache, c'est-à-dire au parc d'aérostation de l'Aéro-

Club. Il a donc effectué 13 voyages en ballon dirigeable, représentant une distance d'environ 45 *km*, effectués avec des repos entre 4 h. 30 et 8 h. 47 du matin.

Le lendemain, 13, après avoir prévenu les membres de la commission, M. Santos-Dumont se décide à tenter l'épreuve.

A 6 h. 20 il sort du hangar, à 6 h. 41 il quitte le sol et prend son vol vers la tour et il passe au poteau par 200 *m* d'altitude, il est 6 h. 55 ; le ballon aidé par le vent n'a mis que 13 minutes pour parcourir 5,500 *km*.

En revenant, il marche contre le vent et donne l'impression d'un obus ailé se mouvant avec effort dans une atmosphère gluante A la trentième minute, il est en rade de l'autre côté de la Seine, près de l'aqueduc. Mais le prix ne sera pas donné ce jour-là, car le vent qui a redoublé de force le fait reculer ,et entraîné à la dérive au-dessus de Longchamps il vient s'échouer sur les arbres du parc de M. Edmond de Rothschild.

Par une chance inouie, la nacelle, la quille, l'hélice, les suspensions, le gouvernail et la machine n'ont subi que des dégâts sans importance.

Après les réparations faites, le *Santos-Dumont n° 5* est de nouveau en état de prendre l'air, seize jours après le premier accident.

Je passe rapidement sur l'expérience faite le 4 août qui, ayant bien débuté, se termine par l'accident du Trocadéro, sur lequel il n'y a pas lieu d'insister.

Enfin, M. Santos-Dumont met en construction son aéronef n° 6 qui, après quelques sorties faites à titre d'essai, exécute le voyage du 19 octobre qui le fait proclamer vainqueur du concours.

J'arrive maintenant à la narration de cette épreuve.

Comme je l'ai dit, j'ai été assez heureux pour être témoin et spectateur du dernier voyage aérien et décisif de M. Santos-Dumont, et j'étais admirablement placé sur le pont du chemin de fer à la gare des coteaux de Saint-Cloud. J'ai pu ainsi suivre l'aéronef depuis son départ, pendant tout son parcours, sans le perdre des yeux, sauf pendant les quelques secondes où en revenant, vers le milieu de son virage, il a été masqué par la tour Eiffel; je me trouvais dans le voisinage de M. Charles Dulot, rédacteur au journal *le Temps*, et comme nous nous sommes communiqué nos impressions et nos émotions je ne puis mieux faire que de citer quelques passages du récit éloquent et imagé qu'il a

donné de la célèbre expérience du 19 octobre, dans le numéro du journal *le Temps* du 21 octobre :

« M. Santos-Dumont qui était, d'après les conditions nouvelles » du concours, dans l'obligation de prévenir le comité scienti- » fique de l'Aéro-Club vingt-quatre heures avant chaque expé- » rience officielle, s'était décidé, afin de pouvoir profiter de » la première belle journée, à convoquer les membres du » comité régulièrement chaque jour, à 2 heures.

» Le matin du 19, le soleil se leva dans cette atmosphère » calme et légère que souhaitait M. Santos-Dumont. Un souffle » d'air, qui maintenait très haut dans le ciel quelques rares » nuages floconneux, mettait à terre tout juste un frisson dans les » dernières feuilles des arbres. Toute la matinée le temps resta » ainsi. Mais vers midi, la brise en se faisant plus forte, » amena dans le ciel toujours plus de nuages, tant et tant qu'ils » masquèrent complètement le soleil.

» Pourtant, comme les nuages restaient assez haut, et que de » la tour Eiffel on téléphonait que le vent était de 4,50 *m* seule- » ment, le jeune aéronaute se décida brusquement — ce qui est » assez son habitude — à sortir son ballon. Il était alors 2 h.20. » Les membres du comité étaient là pour la plupart : le marquis » de Dion, M. Henry Deutsch de la Meurthe, qui, lui, était revenu » exprès de Biarritz pour assister à l'expérience définitive, » MM. de Fonvielle, Georges Besançon.

» Quand, après un faux départ, le ballon eut, non sans bien » des difficultés, atterri : « Ça n'est rien, dit Santos-Dumont. Je » vais m'assurer de nouveau de mon poids et je repartirai. Tout » à l'heure je me suis abaissé comme si j'avais eu 40 *kg* de plus » tout à coup. »

» On vérifie le poids ; on assure à nouveau de l'équilibre de » la nacelle et pour la seconde fois, au milieu d'une ovation » enthousiaste, M. Santos-Dumont commande le « Lâchez tout ». » Il est au chronomètre de M. Besançon, chronométreur officiel » de l'épreuve, 2 h. 44 m.

» A une allure stupéfiante, avec une rectitude absolue, le » ballon franchit la Seine, dépasse le bois, s'élevant bientôt à » une altitude qui ôte toute crainte d'un nouvel accrochage.

» Il ne perd pas la ligne de la tour Eiffel. Cette marche enthou- » siasme les spectateurs massés tous dans la partie la plus élevée » du parc. Cependant, voilà que le ballon fait une légère em-

» bardée, qui le conduit un peu trop à gauche de la ligne droite » à la Tour. Au bout de quelques secondes qui paraissent interminables, la petite tache blanche qui se fait de plus en plus » petite dans le ciel, retrouve sa vraie direction.

» Le ballon au niveau de la tour et il n'y a que six minutes » qu'il est parti.

» Or, précisément dans cet instant, le petit point blanc qu'est » devenu le *Santos-Dumont* s'allonge : le ballon se présente maintenant par le travers. « Il tourne, il tourne » clament des centaines de voix. Et, en effet, le ballon se rapproche de la tour, » il l'affleure, passe devant, emporté même assez loin à droite.

» Repoussé sans doute par le vent, le *Santos-Dumont* va prendre » assez loin le virage. Et enfin, cette fois, à bonne allure, il » double.

» Quand on voit le mince fuseau coupé en deux par la ligne » noire de la tour Eiffel, c'est un enthousiasme bruyant, délirant. Il est 2 h. 52 m. 45 s. Il n'a donc fallu que 8 m. 45 s. » pour faire la moitié du trajet, 5,500 *km*. environ.

» C'est avec une fièvre véritable que les spectateurs regardent » grandir lentement, très lentement, semble-t-il, le ballon. »

Quand le *Santos-Dumont* passe au-dessus de Longchamps, il ne lui reste plus que deux minutes à peine. Mais il marche merveilleusement. Et, de fait, à 3 h. 13 m. 15 s. il se trouve au-dessus du parc d'aérostation, en plein milieu. Il n'a mis encore que 29 m. 15 s. Mais il est trop haut pour qu'on puisse saisir son guide-rope, condition exigée par le règlement remanié.

Alors, d'en bas, on fait signe à l'aéronaute de s'abattre. « Déchirez votre ballon », crièrent quelques-uns. Et de fait, par ce moyen, il eût mis moins de dix secondes pour toucher terre. Mais Santos-Dumont fait un large virage pour s'abaisser en spirale. Quand le guide-rope est saisi, enfin, par ses aides, qui y ont mis cependant une promptitude inimaginable, il y a 30 m. 40 s. 35 centièmes que le départ a eu lieu.

Je ne veux pas entrer dans les polémiques auxquelles a donné lieu l'épreuve dont je viens de signaler les péripéties. En ce qui me concerne, aussitôt après l'atterissage, je me suis rendu au parc d'aérostation avec mon fils et quelques-unes des personnes qui étaient tout près de moi et avaient assisté à ce merveilleux spectacle, et je n'ai pas hésité à déclarer à M. le marquis de Dion et à M. de Fonvielle que selon moi, M. Santos-Dumont

avait gagné le prix. C'est d'ailleurs, la semblable déclaration que je fis à M. Deutsch lui-même, lorsque le rencontrant, il me demanda mon opinion. Mais, encore une fois, n'insistons pas sur cette question : elle est tranchée dans le sens de l'opinion publique et de la vérité.

La décision de la Commission scientifique de l'Aéro-Club, si bien présidée par M. le prince Roland Bonaparte, et dans laquelle les membres de l'Académie des Sciences ont joué le rôle prépondérant, a été un véritable soulagement pour tous ceux qui, se plaçant au-dessus des minuties d'un règlement, d'ailleurs modifié après coup, ont vu le but atteint et ont admiré la persévérance et le courage de M. Santos-Dumont.

Voilà ce qu'a fait M. Santos-Dumont.

Qu'avait-on fait avant lui et que pourra-t-on faire dans l'avenir ? C'est ce que je vais examiner maintenant.

M. Santos-Dumont, dont chacun s'accorde à louer la réserve, n'a pas la prétention d'être le premier qui ait dirigé un ballon en revenant au point de départ. Je viens de rappeler qu'avant lui ce problème avait été résolu par l'aérostat *La France* dans les expériences faites par les capitaines Renard et Krebs au Parc d'aérostation militaire de Chalais-Meudon. Le capitaine Renard est aujourd'hui colonel et toujours à la tête de l'École aérostatique de Meudon, et M. Krebs est, vous le savez, le directeur distingué de la Société des Anciens Établissements Panhard et Levassor. M. le commandant Renard, frère du colonel, me fait l'honneur d'assister à cette séance et je n'hésite pas à déclarer devant lui qu'après les tentatives avortées de leurs devanciers, MM. Renard et Krebs ont fait accomplir le premier pas sérieux dans la direction des aérostats. Depuis eux, ce problème n'est plus considéré comme une utopie : ils l'ont fait passer du rêve à la réalité et le jour de leur première ascension dans l'année 1884 a marqué une date mémorable dans les annales de la conquête de l'air.

III

Expériences de MM. Renard et Krebs en 1884

(*Compte rendu de l'Académie des Sciences.*)

Je n'ai pas à vous retracer l'historique des tentatives faites pour la direction des ballons depuis celles de Giffard (1852), Dupuy de Lôme (1872), Gaston Tissandier (1883) jusqu'aux expé-

riences de MM. Renard et Krebs (1884), puis de MM. Renard frères (1885). Vous trouverez cet historique dans des ouvrages spéciaux, et notamment dans les communications déjà citées de de MM. Duroy de Bruignac et Soreau qui l'ont accompagné de judicieux commentaires.

Comme l'a dit le colonel Renard, le véritable précurseur de la direction des ballons a été le général Meusnier, le célèbre défenseur de Mayence. Étant encore lieutenant en 1785, il conçut un ballon dirigeable dont l'avancement devait s'effectuer à l'aide d'une hélice mue à bras d'hommes et qui comprenait le ballon compensateur appliqué plus de quatre-vingts ans après par M. Dupuy de Lôme.

Bien que le ballon du général Meusnier soit resté à l'état de projet sur le papier, on comprend le sentiment auquel obéissait le commandant Renard en donnant le nom de *Général Meusnier* à l'aérostat dirigeable qu'il se proposait de construire en 1893.

Comme M. Renard a dû, pour des considérations dans lesquelles je n'ai pas à entrer, retarder l'exécution de son second appareil aérien, je suis obligé de remonter aux ascensions de 1884 et 1885.

La forme concise et simple sous laquelle ont été présentés à l'Académie des Sciences les résultats des expériences de MM. Renard et Krebs, mérite sinon que je vous en donne la lecture complète, du moins que j'y puise ce qui est nécessaire pour faire connaître la construction de leur aérostat et sa marche dans l'après-midi du 9 août 1884. Voici donc des extraits de la communication faite le 18 août suivant :

« Un essai de navigation aérienne, couronné d'un plein succès,
» vient d'être accompli dans les ateliers militaires de Chalais ;
» la présente Note a pour objet de porter à la connaissance de
» l'Académie les résultats obtenus.

» Le 9 août, à 4 heures du soir, un aérostat de forme allongée,
» muni d'une hélice et d'un gouvernail, s'est élevé en ascension
» libre, monté par M. le capitaine du génie Renard, directeur
» de l'Établissement, et M. le capitaine d'infanterie Krebs, son
» collaborateur depuis six ans.

» Après un parcours total de 7,6 *km*, effectué en vingt-trois
» minutes, le ballon est venu atterrir à son point de départ, après
» avoir exécuté une série de manœuvres avec une précision
» comparable à celle d'un navire à hélice évoluant sur l'eau.

. . . .

» L'exécution de ce programme et les études qu'il comporte » ont été faites par nous en collaboration ; toutefois, il importe » de faire ressortir la part prise plus spécialement par chacun » de nous dans certaines parties de ce travail.

» L'étude de la disposition particulière de la chemise de sus- » pension, la détermination du volume du ballonnet, les dispo- » sitions ayant pour but d'assurer la stabilité longitudinale du » ballon, le calcul des dimensions à donner aux pièces de la » nacelle, et enfin l'invention de la construction d'une pile nou- » velle, d'une puissance et d'une légèreté exceptionnelles, ce » qui constitue une des parties essentielles du système, sont » l'œuvre personnelle de M. le capitaine Renard.

» Les divers détails de construction du ballon, son mode » de réunion avec la chemise, le système de construction de » l'hélice et du gouvernail, l'étude du moteur électrique calculé » d'après une méthode nouvelle basée sur des expériences pré- » liminaires, permettant de déterminer tous ses éléments pour » une force donnée, sont l'œuvre de M. Krebs, qui, grâce à des » dispositions spéciales, est parvenu à établir cet appareil dans » des conditions de légèreté inusitées.

» Les dimensions principales du ballon sont les suivantes : » longueur 50,42 *m*; largeur 8,40 *m*; volume 1 864 *m*.

. . . .

» A 4 heures du soir, par un temps presque calme, l'aérostat » laissé libre et possédant une très faible force ascensionnelle, s'é- » levait lentement jusqu'à hauteur des plateaux environnants. La » machine fut mise en mouvement, et bientôt, sous son impul- » sion, l'aérostat accélérait sa marche, obéissant fidèlement à la » moindre indication de son gouvernail.

» La route fut d'abord tenue nord-sud, se dirigeant sur le pla- » teau de Châtillon et de Verrières ; à la hauteur de la route » de Choisy à Versailles, et pour ne pas s'engager au-dessus » des arbres, la direction fut changée et l'avant du ballon dirigé » sur Versailles.

» Au-dessus de Villacoublay, nous trouvant éloignés de Chalais » d'environ 4 *km* et entièrement satisfaits de la manière dont » le ballon se comportait en route, nous décidions de revenir » sur nos pas et de tenter de descendre sur Chalais même, » malgré le peu d'espace découvert laissé par les arbres. Le » ballon exécuta son demi-tour sur la droite avec un angle très

» faible (environ 11°) donné au gouvernail. Le diamètre du » cercle décrit fut d'environ 300 *m*.

» Le dôme des Invalides, pris comme point de direction, » laissait alors Chalais un peu à gauche de la route.

» Arrivé à hauteur de ce point, le ballon exécuta, avec autant » de facilité que précédemment, un changement de direction » sur sa gauche ; et bientôt il venait planer à 300 *m* au-dessus » de son point de départ. La tendance à descendre que possé- » dait le ballon à ce moment fut accusée davantage par une » manœuvre de la soupape. Pendant ce temps il fallut, à plu- » sieurs reprises, faire machine en arrière et en avant, afin de » ramener le ballon au-dessus du point choisi pour l'atterrissage. » A 80 *m* au-dessus du sol, une corde larguée du ballon fut » saisie par des hommes, et l'aérostat fut ramené dans la prairie » même d'où il était parti.

» Vitesse moyenne à la seconde 5,50 *m*.

. . . .

» Ce premier essai sera suivi prochainement d'autres expé- » riences faites avec la machine au complet, permettant d'es- » pérer des résultats encore plus concluants. »

Dans une seconde communication faite à l'Académie des Sciences le 7 décembre 1885, M. Renard a présenté les nouvelles expériences exécutées par lui en collaboration avec son frère et M. Duté-Poitevin au moyen du ballon *la France* auquel il avait fait subir quelques améliorations. En particulier la machine motrice multipolaire, employée l'année précédente, était remplacée par une dynamo à deux pôles dont la construction fut confiée à M. Gramme, l'illustre inventeur de la machine qui porte son nom.

M. Renard fait le récit de trois ascensions effectuées le 25 août et les 22 et 23 septembre 1885, et il le complète par l'exposé des formules qui peuvent servir à l'évaluation de la résistance des ballons analogues à *la France* en y comprenant le filet et la nacelle. Les résistances mesurées sont beaucoup plus grandes que M. Krebs et lui l'avaient cru sur la foi des expériences très incomplètes dont ils avaient dû se contenter pour l'établissement de leur projet. Dans les diverses ascensions de 1884 et 1885, la vitesse propre du ballon a varié entre 5,42 *m* et 6,32 *m*.

Tel était en 1885 l'état de la question de la direction des aérostats.

Je n'ai pas connaissance que des travaux aérostatiques aient été faits depuis en France dans cette voie. Vous savez que les tentatives qui ont eu lieu à l'étranger et qui ont fait quelque bruit, notamment celles du lieutenant Lilienthal avec son aéroplane mû par lui-même et du baron de Zeppelin avec son aérostat commandé par un moteur à benzine, ont complètement échoué. Il n'y a donc pas lieu de s'y arrêter.

Je suis donc tout naturellement ramené aux expériences de M. Santos-Dumont et conduit à en comparer les résultats avec ceux obtenus par les expériences de MM. Renard et Krebs.

C'est ce parallèle que je vais essayer d'établir.

IV

Notions fondamentales. — Analyse de l'expérience du 19 octobre.

Détermination de la vitesse propre de l'aéronef de M. Santos-Dumont.

Examen critique de sa construction.

Avant même que la Commission technique ne soit prononcée, ceux qui, le jour de l'épreuve du 19 octobre, attendaient, comme moi, avec impatience, le retour au parc de l'aéronef parti dans la direction de la tour Eiffel, avaient par leurs applaudissements exprimé qu'ils considéraient M. Santos-Dumont comme ayant remporté la victoire, c'est-à-dire gagné le prix fondé par M. Deutsch.

Ce n'est pas le lieu ici de rappeler les discussions qui se sont élevées sur la question de savoir si M. Santos-Dumont avait oui ou non rempli les conditions du concours, modifiées ultérieurement par la Commission d'aérostation. Ce qui est certain, c'est que dans son dernier voyage aérien M. Santos-Dumont a touché le but fixé et est revenu au point de départ dans le délai assigné. S'il n'a pas, comme l'ont dit à tort quelques trop zélés partisans du hardi aéronaute, fait la conquête de l'air, tout au moins a-t-il en quelque sorte *maîtrisé l'espace et le temps* dans les conditions que nous connaissons.

C'est ce double résultat nouveau, non encore obtenu avant lui, qui lui a valu l'admiration de tous, même celle de ceux

qui ont contesté le mérite scientifique et technique de ses expériences.

C'est à ce dernier point de vue cependant que nous devons nous placer ici pour discuter les travaux de M. Santos-Dumont.

Il nous faut alors quitter les régions élevées où les vœux des assistants avaient pour ainsi dire accompagné M. Santos-Dumont pendant qu'il accomplissait son prodige dans les airs, pour redescendre dans l'examen critique terre à terre de ses différentes épreuves et surtout de la dernière. N'a-t-il réussi qu'à accomplir un exploit sportif, ou au contraire a-t-il fait franchir un pas nouveau vers la solution du problème de la navigation aérienne? Telle est la question.

Mais, pour bien analyser les circonstances de sa dernière ascension, celle de l'épreuve du 19 octobre, il convient de rappeler quelques-unes des notions fondamentales, aujourd'hui universellement acquises et qui constituent, pour ainsi dire, les principes de l'aéronautique, dans ces deux branches : l'aérostation et l'aviation.

Rôle du vent.

Dans une brillante conférence sur la navigation aérienne que le colonel Renard a faite le 8 avril 1886 à la Société des Amis des Sciences, il a parfaitement défini le rôle du vent dans la navigation aérienne. C'est un point important sur lequel il convient d'insister. « Le vent, a dit M. Renard, qui, pour un observateur » placé au sol, se manifeste par des efforts qui ont fait employer » les expressions de violence, force du vent, le vent en tant que » force et violence n'existe pas pour l'aéronaute. Il consiste, en » effet, tout simplement en un déplacement qui, à un moment » donné, et dans les limites de la région actuellement parcourue » par le ballon, peut être considéré comme rectiligne et uni- » forme.

» Ainsi le vent n'existe pas pour l'aéronaute parce qu'il ap- » partient à l'air et non au sol. Tout se passe donc pour le navire » aérien, qu'il soit ou non dirigeable, comme si l'air était immo- » bile. La fumée d'une cigarette s'élèverait verticalement à bord » de la nacelle d'un ballon emporté par le vent le plus violent. »

Le ballon se meut dans la nappe d'un courant aérien comme une personne qui se déplace dans un bateau, quand celui-ci est

en marche, et le déplacement effectif ou absolu d'un ballon par rapport à la terre n'est que la résultante de son mouvement dans le milieu aérien et du déplacement dans ce dernier. Les choses se passent, pardonnez-moi cette comparaison que j'emprunte à un exemple qui m'est familier, comme sur la plate-forme mobile de l'Exposition. Le trottoir roulant simulant un courant aérien et l'un des visiteurs figurant un ballon, on comprend très bien qu'en marchant dans le sens de l'entraînement, ce dernier augmentait le déplacement effectif pour aller d'un point à l'autre sur le parcours et qu'en marchant en sens contraire il avait la faculté, avec une vitesse plus grande, de revenir en arrière ou avec une vitesse égale à celle de l'entraînement du trottoir, de rester en place pour contempler plus à loisir une des curiosités de l'Exposition.

La vitesse propre du ballon peut être inférieure, égale ou supérieure à celle du vent. Quand elle est inférieure, le ballon peut se déplacer dans un angle, comme celui qu'indique la figure 1 *(Pl. 15)*, lequel est appelé « angle abordable » MON. L'angle P'OM est appelé « angle de déviation maxima » ; il est donné par la formule très simple Sin $\alpha = \frac{v}{u}$, u étant la vitesse du vent. Si l'on considère le cas où la vitesse propre est égale à celle du vent, l'angle de déviation maxima est égal à un angle droit. Si PM *(fig. 2)* est la direction réelle à suivre, P'M est la direction du cap et la déviation P'PM est la moitié de l'angle MP'X. Enfin, si la vitesse propre est supérieure à celle du vent, le point de départ P *(fig. 3)* est à l'intérieur de la circonférence abordable et le ballon peut atteindre tous les points de l'horizon.

Ainsi donc, comme le résume le colonel Renard, la condition *sine qua non* d'une direction complète dans tous les sens est que la vitesse propre soit supérieure à celle du vent.

Un tableau présenté dans la même conférence, et qui contient les mesures régulières de la vitesse de l'air faites à Chalais au moyen d'un anémomètre enregistreur placé au-dessus du plateau de Châtillon, donne la probabilité en millièmes d'avoir un vent d'une vitesse plus faible que les nombres inscrits dans une colonne.

D'après ce tableau, un ballon dirigeable ayant une vitesse propre de 12,50 *m* par seconde pourrait évoluer dans tous les sens 815 fois sur 1 000, et il pourrait remonter le vent avec une vitesse de 2,50 *m* par seconde au minimum 708 fois sur 1 000.

De ce qui précède, le colonel tira les deux conclusions suivantes :

1° La conquête de l'air sera réalisée le jour où l'on aura construit un ballon dirigeable ayant une vitesse propre de 12,50 m *(15* km *à l'heure) et pouvant soutenir cette vitesse pendant toute une journée, c'est-à-dire de 10 à 12 heures;*

2° Le problème sera résolu par les progrès continus des moteurs et par la diminution de la résistance à la marche des ballons dans l'air.

Analyse de l'expérience du 19 octobre 1901.

Dans quelle mesure M. Santos-Dumont s'est-il approché de ce desiderata? Le point capital est de chercher la vitesse propre dont a pu disposer son aérostat, c'est-à-dire de la vitesse qu'il aurait en air calme.

A entendre les adversaires et les détracteurs de M. Santos-Dumont, il aurait été favorisé par les conditions atmosphériques exceptionnelles le jour de son expérience du 19 octobre ; il aurait eu un vent fort à l'aller et un vent faible au retour. La vérité est que l'expérience n'ayant duré qu'une demi-heure, le vent n'a pas beaucoup changé en vitesse et en direction. D'après les mesures données par les anémomètres de la tour Eiffel, cette vitesse a varié entre 4,50 *m* et 5 *m* aux altitudes de 150 et 300 *m*. Me mettant, au contraire, dans les conditions les plus défavorables, je suis arrivé à établir, d'une manière positive et catégorique, que la vitesse propre moyenne de l'aérostat de M. Santos-Dumont n'a pas été inférieure à 8,50 *m* et a pu atteindre même 9 *m*. Pour cette démonstration j'ai employé trois méthodes que je vais successivement indiquer.

Méthode arithmétique.

Un simple calcul numérique permet de trouver la vitesse propre moyenne de l'aérostat.

La connaissance de la trajectoire tracée sur la carte, en admettant que l'aérostat a décrit une courbe fermée ou boucle dont les distances à l'axe de la tour Eiffel ont varié de 150 à 200 *m*, donne les distances exactes à 1/20e au moins des points auxquels on a noté les heures de passage de l'aérostat.

Sur la carte (Voir *pl. 15*), la distance du parc d'aérostation à

la tour Eiffel est de 5400 *m*; du parc au point où a commencé le virage elle a été de 4900 *m*. Enfin, du point extrême atteint par l'aérostat derrière la tour Eiffel jusqu'au parc, la distance à vol d'oiseau est de 5500 *m*, mais on peut admettre à cause de la courbe qu'elle a été de 5700 *m*.

Comme le vent avait une direction différente de celle de l'aérostat, il faut composer (voir *fig. 4*) la vitesse moyenne V avec la vitesse du vent *u* d'après le parallélogramme des vitesses pour avoir la vitesse propre de l'aérostat.

On trouve ainsi pour celle-ci à l'aller et au retour une valeur de 8,50 *m*.

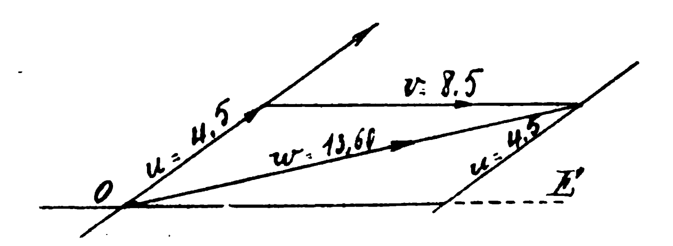
Direction du vent : S.-O. 1/4 O.

Aller :

Trajet OC. — w vitesse moyenne sur le sol de A à B.

$$w = \frac{4900}{360} = 13,60\ m \qquad t = 6' = 360''$$

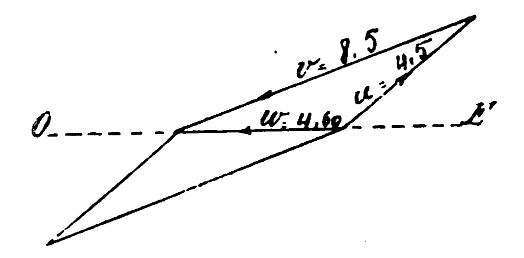
u, vitesse du vent 4,50 *m*. $\qquad v = 8,50$ *m*.



Retour :

Trajet DO : $w = \dfrac{5700}{1230} = 4,60\ m$

$t = 20'30'' = 1230'' \qquad v = 8,50\ m$



		ESPACE PARCOURU	TEMPS	*w* VITESSE MOYENNE	*u* VITESSE DU VENT	*v* VITESSE PROPRE de l'aérostat
		m		*m*	*m*	*m*
Aller	Du parc d'aérostation au point où a commencé le virage	4 900	6′ ou 360″	13,60	4,50	8,50
Retour	Du point extrême de la Tour au parc d'aérostation	5 700	20′30″ou 1 230″	4,60	4,50	8,50

On arrive à un résultat analogue en faisant le calcul comme pour les bateaux dont on veut mesurer la vitesse propre v. Pour cela, on mesure la vitesse réelle ou absolue $w = v + u$ quand le bateau va dans le sens du courant et la vitesse $w' = v - u$ quand il revient en remontant le courant. En prenant la moyenne, on a la vitesse propre. Mais on suppose que le trajet s'est fait sinon en ligne droite, du moins suivant une ligne qui est la même à l'aller et au retour, sans une courbe aussi développée que celle que l'aérostat a suivie pendant son virage autour de la tour Eiffel. En outre, on admet que la vitesse u du courant a été la même pendant tout le temps du trajet.

Dans ces conditions, pour l'expérience du 19 octobre, on trouve un chiffre trop inférieur à la valeur vraie ; il faut augmenter la longueur pour tenir compte du temps perdu à décrire la courbe et en prenant 6 000 *m* pour la distance parcourue dans un sens, on trouve une valeur approximative de 8,50 *m*.

Dans l'espèce, ces calculs se font dans des conditions qui ne s'écartent pas beaucoup de la réalité. Toutefois, l'importance de la question est telle qu'il m'a paru utile de vérifier par d'autres méthodes la vitesse propre de l'aérostat dans l'épreuve du 19 octobre.

Méthode graphique ou géométrique.

La méthode graphique que j'ai découverte fait l'objet d'une communication (1) qui sera présentée lundi prochain à l'Académie des Sciences. Je crois pouvoir vous en indiquer aujourd'hui le principe :

(1) Cette communication, faite le 25 novembre, a été suivie d'une seconde, le 9 décembre dernier.

Quelles que soient les irrégularités de la trajectoire d'un aérostat sur le sol, on peut substituer à une portion de cette courbe l'arc d'un cercle osculateur, dont le rayon est égal à la moyenne des rayons de courbure sur la portion considérée. On peut ainsi ramener à l'étude du mouvement d'un mobile sur cette circonférence l'étude du déplacement absolu ou réel de l'aérostat. La vitesse absolue w de l'aérostat est à chaque instant la résultante de la vitesse u du vent (vitesse de translation) et de la vitesse propre v de l'aérostat (vitesse relative).

Deux cas sont à considérer :

1° Nous supposons constantes la direction et la vitesse du vent. En notant les variations de la résultante, c'est-à-dire de la vitesse réelle lorsque le mobile, projection du ballon au zénith en chaque point, se déplace sur cette circonférence, on peut suivre par cela même les variations de la vitesse propre de l'aérostat dans la partie de sa trajectoire qui se rapproche le plus de ladite circonférence, prise comme courbe de comparaison.

Si l'on veut chercher le point particulier où la vitesse propre, supposée connue, de l'aérostat est égale à la vitesse réelle sur le sol, il suffit de construire (voir la *fig. 4*, *Pl. 15*) le triangle isocèle bcd ayant pour base $bc = u$ et pour côtés égaux bd ou cd égal à v, et de mener à la circonférence une tangente parallèle égale à bd ; le point obtenu sera celui où la vitesse propre du ballon aura été égale à la vitesse absolue.

Cela posé, si l'on cherche quelle a été la vitesse propre de l'aérostat, devenue l'inconnue, à l'instant où elle a été égale à la vitesse réelle, on la trouve en menant (voir la *fig. 5*) une tangente au cercle osculateur représentant la trajectoire par le point qui est à l'intersection du lieu des points T avec le lieu des sommets des triangles isocèles construits sur la droite de la vitesse du vent u, comme base, et en prenant pour l'un des côtés égaux la tangente menée au cercle osculateur au point considéré.

Des tangentes parallèles à la droite bd ou MT, menées à la trajectoire réelle, détermineront les points où l'égalité a eu lieu entre la vitesse réelle sur le sol et la vitesse propre, ce qui permettra (voir la *fig. 6*) de contrôler cette dernière ou de la déterminer.

J'ai pu déterminer avec une approximation de 1/20e au moins le tracé de la projection sur le sol de la trajectoire suivie par l'aérostat de M. Santos-Dumont dans son épreuve du 19 octobre. J'ai procédé de la manière suivante :

Pendant l'expérience, placé sur le pont de la gare des coteaux de Saint-Cloud, je suivais avec une jumelle la marche de l'aérostat et je ne l'ai pas perdu de vue, sauf à l'instant où durant son évolution de virage, il a été masqué par la tour. J'avais donc pu, de mémoire, faire un tracé approximatif de la trajectoire horizontale de l'aérostat. Mais, en raison de l'importance de la question, j'ai cru devoir rechercher une exactitude aussi grande que possible, et c'est pourquoi j'ai fait une enquête auprès des personnes qui avaient pu se trouver, soit à l'aller, soit au retour, sous le passage au zénith de l'aérostat, et j'ai consulté celles qui l'avaient observé, pendant son virage, des plates-formes de la tour Eiffel. C'est quand j'ai été certain de la concordance des indications fournies par ces témoins oculaires que j'ai pu, à l'aide d'un certain nombre de points de repère très précis, tracer la courbe définitive sur la carte au 1/20 000e dressée par le Service Géographique de l'armée. D'autre part, grâce à l'obligeance de M. Wilfrid de Fonvielle, j'ai obtenu du Bureau météorologique central les indications enregistrées au sommet de la tour Eiffel pour les vitesses et la direction du vent dans la journée du 19 octobre. Voir la ligne noire tracée sur le plan *(Pl. 45)*.

C'est avec ces données que j'ai pu appliquer la méthode géométrique ci-dessus exposée, laquelle m'a permis de fixer les points I, I' et J de la boucle où la vitesse propre de l'aérostat a été égale à la vitesse réelle mesurée sur le sol (voir les *fig. 6 et 7)*.

La valeur de cette vitesse a été trouvée supérieure à 8,50 *m*, soit 2 *m* de plus que celle atteinte par la vitesse du ballon *la France* dans les expériences de 1884 et 1885.

Comme dans l'épreuve du 19 octobre l'aérostat a changé d'altitude et qu'ainsi que nous l'avons constaté, tantôt il pointait vers le ciel, tantôt il plongeait vers la terre, il est évident que la composante horizontale de la vitesse propre est bien inférieure à la vitesse réelle qu'il avait dans l'atmosphère. Si l'on ajoute à cette considération le fait que le ballon a subi dans son évolution des sautes de vent et même des rafales autour de la tour Eiffel, il est évident que sa vitesse propre dans l'atmosphère a dépassé de beaucoup 9 *m*.

Il m'a paru intéressant de rechercher quelle a pu être cette vitesse propre en la déterminant à l'aide des équations fondées sur les lois de la mécanique. Je suis ainsi conduit à appliquer une troisième méthode.

MÉTHODE ALGÉBRIQUE.

Je n'ai pas la prétention de vous exposer la théorie de la résistance des fluides. Les lois du mouvement des corps dans les milieux fluides ont occupé l'attention des plus grands savants : sans parler de Galilée, à qui remontent les premières études sur ce sujet, on peut citer les expériences de Newton, Borda, de Bossut, d'Alembert, Condorcet, et celles plus récentes de Poncelet, Morin, de Dion, etc.

Quand nous arriverons à discuter sur l'aviation, je vous soumettrai quelques idées personnelles sur le rôle dynamique de l'air employé uniquement pour la sustentation de l'appareil.

Des expériences nombreuses ont été faites sur la résistance d'un corps se déplaçant dans l'air par beaucoup de physiciens, je citerai les travaux de Navier, Pénaud, Borda, Dupuy-de-Lôme, Langley. Ce sont les expériences du commandant Renard, en collaboration avec M. Krebs, qui me paraissent avoir fourni les coefficients les plus exacts et les données pratiques les plus satisfaisantes.

Newton a démontré que si l'on considère un plan frappé par un courant d'air animé d'une certaine vitesse, quand le déplacement est perpendiculaire à la direction du vent, la résistance est proportionnelle à la surface et au carré de la vitesse. Il en est de même si c'est le plan qui se déplace avec une vitesse V dans un air calme dans le sens de sa normale.

La formule fondamentale est : $R = KdSV^2$, d étant la densité de l'air et K est un coefficient à déterminer. En réunissant K et d en une seule lettre φ, on a $R = \varphi SV^2$. Or, pour ce coefficient φ, les valeurs trouvées par les différents expérimentateurs tels que Poncelet, Marey, le colonel Renard, Langley, Cailletet et Collardeau varient entre 0,06 pour la plus petite jusqu'à 0,30 pour la plus grande. Dans les études expérimentales de Chalais, on a admis d'abord $\varphi = 0{,}125$, puis, à la suite de certains travaux faits par les frères Renard, on a adopté $\varphi = 0{,}085$, valeur qui concorde bien avec les différentes expériences de Morin et avec les mesures exécutées en Amérique par M. Langley.

Quand le déplacement d'un plan mince s'effectue suivant un angle i, la résistance N est donnée par l'équation :

$$N = R[a \sin i - (a - 1) \sin^2 i],$$

a étant un coefficient plus grand que 1 et probablement égal à 2.

Cette formule donnée par le colonel Renard semble un compromis entre les deux formules qui supposaient la résistance proportionnelle au sinus carré ou au sinus. Comme souvenir personnel, je dirai que, pendant plus de dix ans, à la Société de Navigation aérienne, on a discuté sur la préférence à donner à l'une ou à l'autre de ces formules. En prenant $a = 2$, et i étant assez petit cette formule devient :

$$N = 2R \sin i, \qquad \text{et pour } i \text{ très petit} \qquad N = 2Ri.$$

Pour un corps allongé, il faut donc multiplier R par un coefficient qui dépend de la forme du ballon. Comme généralement on donne aux aérostats, qui sont des solides de révolution, la forme d'un ellipsoïde allongé, pour déterminer ce coefficient on considère l'allongement, c'est-à-dire le rapport existant entre la plus grande longueur et le plus grand diamètre, c'est-à-dire du maître-couple.

D'après le colonel Renard, ce coefficient peut être de 1/10 à 1/15 et même descendre à 1/20. A la suite de ses expériences il a adopté pour un ballon de la forme du ballon *la France*, la formule $R = 0{,}01685\ D^2V^2$.

Le travail à fournir pour vaincre cette resistance est $\theta = 0{,}01685\ D^2V^3$.

Or, comme nous le savons, l'effort F à exercer est obtenu par le mouvement d'une hélice, tournant sur un axe horizontal. Ce serait nous entraîner trop loin même que d'effleurer seulement l'étude de l'hélice aérienne. A ce sujet je ne puis mieux faire que vous prier de vous reporter aux communications très remarquées qui ont été faites à la Société par nos Collègues M. Duroy de Bruignac dans la séance du 5 mars 1875 et M. Gouilly dans celle du 19 février 1886.

On pourra consulter avec fruit les mémoires présentés au Congrès d'architecture et de construction navale par M. Rateau, Ingénieur des Mines et M. Dezwiecki, Ingénieur civil, qui a débuté par étudier l'aviation et la propulsion aérienne.

L'hélice employée dans le ballon *la France* comme dans l'aéronef de M. Santos-Dumont, était composée de deux palettes formées, pour ainsi dire, par un plan tordu qui est une surface conoïde à plan directeur. Le rendement d'une hélice ainsi constituée égal au rapport $\frac{\theta}{T}$ serait fourni, selon le colonel Re-

nard, par la formule $\frac{6}{T} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2}} = \frac{2}{3}$, ou, autrement dit, le rendement serait en moyenne de 2/3 ou 66 0/0. Dans la pratique, il doit varier entre 0,60 et 0,70 0/0. Pour le ballon *la France*, il était de 69 0/0.

Ces formules étant rappelées, appliquons-les à l'aérostat de M. Santos-Dumont.

Dans son appareil, la force de propulsion mesurée sur l'hélice tournant sur place, c'est-à-dire au point fixe, a varié entre 70 et 75 *kg*. En supposant qu'il y ait équilibre entre la résistance et l'effort, pendant la marche, on peut, d'après la formule de M. Renard, écrire 75 = 0,0215 V et, en remplaçant S par la superficie du maître-couple du ballon de M. Santos-Dumont, c'est-à-dire 28,3 m^2, on trouve pour la valeur de V, V = 11 *m*; ce nombre me paraît trop élevé. Cependant son exactitude est contrôlée par l'application de la seconde formule de M. Renard qui prend pour base le travail développé sur l'arbre de l'hélice ; en supposant ce travail égal à 16 *ch*, on retrouve 11 *m* pour la vitesse.

Celui de mes Collègues qui s'est le plus occupé de l'étude de l'aéronautique est certainement M. Duroy de Bruignac dont j'ai rappelé les travaux. Il a traité ces questions avec une compétence et une sagacité que je suis heureux de reconnaître ; on est en droit de s'étonner que les aéronautes n'aient pas profité plus largement du fruit de ses études.

La formule que M. Duroy de Bruignac a établie et qu'il a rappelée dans son mémoire de 1884 lorsqu'il a discuté les expériences de MM. Renard et Krebs est fondée sur des hypothèses très sérieuses. Cette formule donne l'expression du travail de translation T d'un ballon en forme de fuseau :

$$T = p_n v. \int ds \sin^3 \alpha$$
$$ds \sin \alpha = 2 \text{ r. dr.}$$

En désignant par *k* le rapport entre le demi-grand axe et le rayon R, on arrive à la formule :

$$T = v p_n 2\pi R^2 \left(\frac{2}{3(k^2 + 1)} - \frac{1}{3(k^2 + 1)^2} \right).$$

En établissant cette formule, son auteur a supposé que la surface est très lisse, laissant à calculer à part les résistances des

cordages de la nacelle ; c'est le travail du fuseau seul qu'il a déterminé.

M. Duroy de Bruignac a calculé comment variait le rapport du travail de translation du fuseau à celui de son grand cercle pris comme unité, pour différentes valeurs de k, et il a donné des coefficients numériques c, c', c'', notamment en prenant comme exemples les aérostats de Giffard, Dupuy de Lôme, Tissandier et Renard et Krebs.

Pour comparer les vitesses que peuvent prendre, suivant leur forme, les aérostats disposant d'un même travail propulseur, il faut éliminer le travail p_n en tenant compte de la relation

$$\frac{p_n}{p'_n} = \frac{v^2}{v'^2}.$$

En éliminant p_n et p'_n à l'aide de l'équation du travail, on tire

$$v' = v \sqrt[3]{\frac{c}{c'}}.$$

En prenant comme terme de comparaison l'aérostat de Chalais, en 1884, qui a marché avec une vitesse de 6 m, on trouve, toutes choses égales d'ailleurs, que la vitesse propre théorique du *Santos-Dumont* devrait être de 9,3 m. Si l'aérostat est comparé à celui de Dupuy de Lôme, la vitesse trouvée est seulement de 8,35 m.

Ces résultats sont concordants et permettent de supposer que la résistance opposée par la nacelle et ceux qui la montent, par les agrès, l'hélice et le gouvernail varie dans le même rapport. Toutefois, le chiffre donné par la formule de M. Renard est trop fort, celui que fournit la formule de M. Duroy de Bruignac me paraît trop faible et cela tient sans doute à ce que notre Collègue n'a pas pu, par des expériences, vérifier les conditions pratiques de résistance des ballons dans l'air.

Entre les vitesses calculées qu'on peut admettre être égales à 10 m en prenant la moyenne des nombres trouvés avec M. Renard et avec M. Duroy de Bruignac, et la vitesse réelle déterminée graphiquement, on voit qu'il y a une différence de plus de 1 m, et il convient de l'expliquer. Pour cela, il faut étudier l'allure de l'aérostat pendant son parcours, autrement dit sa stabilité de route.

C'est sur ce point que les critiques dirigées contre les expériences de M. Santos-Dumont sont les plus vives. Voyons si elles sont justifiées

V

Stabilité de route.

Un véhicule en mouvement manque de stabilité quand il se dérange trop de la ligne ou de la trajectoire qui doit le conduire vers un but déterminé. Cette déviation dans le sens horizontal s'appelle le roulis ; elle est ce qu'on nomme le tangage dans le sens vertical.

Déviation latérale

En ce qui concerne la déviation latérale, M. Soreau, dans son mémoire, démontre très clairement l'avantage qu'il y avait à employer un ballon dissymétrique, comme celui de Chalais, c'est-à-dire avec une proue élargie et une poupe effilée, le ballon affectant la forme d'un poisson. (Voir la figure que j'emprunte au mémoire publié dans les Comptes rendus de notre Société.) M. Soreau ajoute que la place de l'hélice à la proue présente l'avantage de fendre le vent et d'amener l'hélice dans un air qui n'a pas encore été troublé par le passage du ballon. Je passe sur cette question de l'emplacement de l'hélice qui pourra donner lieu ultérieurement à des discussions intéressantes, et je vais parler de la déviation verticale ou tangage.

Déviation verticale.

Lorsque l'aérostat se met en mouvement, il est soumis à l'action d'un couple qui tend à le faire osciller en élevant son nez vers le ciel. La puissance de ce couple est mesurée par le produit Fd, d étant la distance de l'arbre de l'hélice où s'applique l'effort de propulsion F au point O, centre de figure du ballon, supposé symétrique (voir la *figure*). Si ce mouvement de pointage ou de relèvement se poursuivait, l'aérostat se renverserait, c'est-à-dire capoterait. Mais, heureusement, il est rappelé par un couple contraire POG sin i qui agit lorsque le centre de gravité du système s'est suffisamment écarté de la verticale passant par le centre de figure du ballon, qu'on peut considérer comme le centre de suspension.

En supposant que la distance du centre de gravité soit de

3,6 *m* dans l'aéronef de M. Santos-Dumont, l'angle de déviation, au moment où l'équilibre est atteint, est d'environ 14° :

$$\overline{PGO} \sin i = Fd.$$

Cette inclinaison de l'aérostat dans un plan azimuthal a l'inconvénient d'augmenter considérablement la résistance et, par conséquent, contribue à diminuer la vitesse.

Dans ses expériences, M. Santos-Dumont nous a dit que c'est grâce au déplacement de son guide-rope qu'il avait pu atténuer les effets du tangage.

Cette diminution de la vitesse peut se calculer approximativement en déterminant d'abord la résistance augmentée et, à ce sujet, nous pouvons prendre la formule indiquée par M. Soreau, qui est $R_1 = R\left(1 + l^2 \sin^2 \frac{i}{2}\right)$, l étant l'allongement ou calibre égal à $\frac{33}{6} = 5,5$. On trouve que la résistance est multipliée par 1,5 ou augmentée de 1/3, en prenant $1 = 14°$, angle calculé ci-dessus.

En reprenant la formule on a alors $R_1 = 1,5 \times 0,0215 sv^2$.

La vitesse est ainsi réduite dans le rapport de 1 à $\sqrt{1,5}$ ce qui donne 8,2 *m* au lieu de 11 *m* dans le cas de la formule générale.

Un fort tangage fait donc descendre la vitesse à 8 *m*. Une autre cause fait incliner le ballon : c'est lorsqu'il s'élève ou descend, par la variation de sa force ascensionnelle, car sa vitesse propre dans la couche aérienne est la résultante de la vitesse d'avancement horizontal et de la vitesse montante et descendante.

Toutes ces causes de variation, en y ajoutant les causes de perturbation provenant des changements brusques dans la direction et la vitesse du vent, de remous ou des petites rafales, comme il s'en est produit lorsque le ballon *Santos-Dumont* faisait son virage autour de la tour Eiffel, permettent d'expliquer pourquoi la vitesse propre moyenne est demeurée aux environs de 8 *m*.

D'une manière générale, en comparant deux aérostats de même structure, c'est-à-dire semblables au point de vue de la forme ellipsoïdale, en fuseau, par exemple, on détermine la vitesse V' de l'un par rapport à la vitesse V de l'autre, à l'aide de la formule

$$\frac{T'}{T} = \frac{V'^3}{V^3} \times \frac{D'^2}{D^2} \quad \text{d'où} \quad \frac{V'}{V} = \sqrt[3]{\frac{T'}{T} \times \frac{D^2}{D'^2}}.$$

La simple application de cette formule montre que la vitesse propre du *Santos-Dumont* a certainement dépassé de 2 *m* celle du ballon de Chalais. J'estime que c'est là un progrès considérable.

Le tableau ci-dessous montre les étapes successives de la question, en comparant ensemble les résultats des tentatives faites jusqu'à ce jour avec les ballons dirigeables.

NOMS	VITESSE	VOLUME	ALLONGEMENT	MAITRE-COUPLE	CHEVAUX sur l'arbre	FORCE par 100 m² de maître-couple
	m	*m*³		*m*²	*ch*	*ch*
Giffard (1852).	3	2 500	3,6	113	3	2,65
Giffard (1855).	4	3 200	7	78,5	3	3,82
Dupuy de Lôme (1872).	2,80	3 600	2,43	172	0,65	0,38
Tissandier (1884)	4	1 000	3,04	66,5	1,5	2,25
Renard et Krebs (1884)	6	1 861	6	55,4	9	16,25
Santos-Dumont (19 octobre 1901)	8,5	622	5,5	28,3	16	56,5

VI

Application des moteurs légers à la direction des ballons.

A la fin de la communication dans laquelle M. Duroy de Bruignac exposait le résumé de ses recherches sur la navigation aérienne, une discussion s'est engagée à laquelle ont pris part MM. de Dion, ancien Président de la Société, et M. Maldant, esprit original et chercheur. Ce dernier déclarait à ce moment qu'il ne pensait pas que la voie de la direction des ballons dans laquelle il voyait le plus grand nombre d'Ingénieurs aéronautes chercher le problème de la conquête de l'air, était la meilleure et la plus rationnelle, et il demandait s'il ne fallait pas lui préférer la voie de l'aviation directe par les machines, même par l'homme, l'homme volant ne lui paraissait pas une solution impossible. A ce sujet, celui qui vous parle fit observer (séance du 5 mars 1875) qu'au lieu de chercher à faire voler l'homme, il valait

mieux s'attacher à utiliser des forces motrices autres que la force humaine et à faire de véritables machines volantes.

Dès 1875, on pouvait déjà prévoir qu'on arriverait à diminuer le poids des machines, c'est-à-dire le poids de l'engin moteur par force de cheval. Mes prévisions se sont réalisées et je suis ainsi amené à passer en revue les progrès qui ont été faits dans cet ordre d'idées.

Passons en revue les différentes sources de force motrice : vapeur, électricité, mélanges explosifs.

Vapeur.

En ce qui touche les machines à vapeur, tant qu'on emploiera les aérostats gonflés à l'hydrogène, il sera imprudent d'emporter dans la nacelle des machines à foyer dont les étincelles peuvent produire l'inflammation du gaz et provoquer l'explosion du ballon. Cependant, si on pouvait isoler suffisamment le ballon de la nacelle ou faire le ballon en une substance incombustible, ce danger pourait être conjuré.

Pour les machines, il y a à considérer le poids correspondant à l'approvisionnement. Ce poids est très lourd, puisqu'il comprend à la fois l'eau et le combustible. M. Serpollet, l'inventeur bien connu du système qui porte son nom, nous a dit qu'il se faisait fort, avec son système de générateur, de réduire à 191 *kg* le poids d'une machine d'une puissance de 30 chevaux, soit 6,6 *kg* par cheval. Mais il faudra emporter 10 *l* d'eau par cheval ce qui chargera beaucoup trop l'aérostat.

Peut-être pourra-t-on arriver à une réduction plus grande en remplaçant le moteur à piston par une turbine de Laval ou Parsons ou toute autre à mouvement continu.

Électricité.

Pour l'électricité, MM. Renard et Krebs étaient parvenus à réduire leur pile à un poids de 400 *kg* pour une force sur l'arbre de 9 *ch*, indépendamment de la durée et comme poids réel par heure à 25 *kg*. Dans le poids de 400 *kg* est sans doute compris le poids de la dynamo qui avait été construite par M. le capitaine Krebs et qui ne pesait que 10 *kg*, chiffre qui n'a pas été diminué depuis.

C'était un progrès réel sur la pile de M. Tissandier qui pesait 68 *kg*, et sur la force humaine de huit hommes employée par M. Dupuy de Lôme, qui pesaient 400 *kg*.

Mélanges tonnants.

Les moteurs à explosion ou à mélange tonnant ont d'abord été des moteurs à gaz, c'est-à-dire utilisant le gaz d'éclairage. Tel était le moteur de Lènoir, dont le nom ne doit jamais être oublié quand il s'agit de cette classe de machines, pas plus que celui de Hugon qui, un des premiers, songea à employer un hydrocarbure.

Mais c'est à partir du jour où on appliqua le cycle à quatre temps indiqué par Beau de Rochas que ces moteurs ont atteint un degré de perfection qui leur a permis de rivaliser avecles moteurs à vapeur. C'est grâce à Otto, à Daimler, puis à MM. Levassor, à MM. de Dion et Bouton, que ces moteurs ont pu être appliqués pour l'automobilisme. Les communications très complètes et très documentées qu'a faites notre jeune et distingué Collègue, M. Lucien Périssé, vous ont mis au courant des dernières modifications apportées à cet engin de force motrice, surtout quand on y brûle de l'alcool au lieu d'essence de pétrole.

Dans l'étude que j'ai présentée moi-même sur les moteurs à gaz qui figuraient à l'Exposition universelle de 1878 (communication à la Société le 15 février), j'avais annoncé que pour bien utiliser l'énergie calorifique du fluide combustible, il fallait faire fonctionner ces machines à une très grande vitesse. De 160 tours qu'elle était, au maximum, cette vitesse a été portée jusqu'à 1 600 et plus. On comprend que, par cette augmentation de vitesse, pour le même poids, on décuple la puissance, ou pour une même puissance on réduit le poids de 1/10.

Cette légèreté, d'ailleurs, peut encore être atteinte en réduisant les dimensions de certains organes, et en employant des matériaux assez résistants sous un petit poids, l'acier au lieu de la fonte, l'aluminium pour les parties qui n'ont pas à travailler.

Le développement qu'a pris, en France, la construction des moteurs pour les automobiles, a poussé les constructeurs à faire des moteurs aussi légers que possible pour les voitures dites légères. Tel a été le but des recherches de MM. de Dion et Bouton. qui, par leurs travaux ont eu le grand mérite de donner l'essor à une industrie éminemment française.

Pour les motocycles, les voiturettes et, surtout, pour les motocycletste (bicyclettes à moteur), il est évident qu'il y aura avantage à alléger encore le moteur. Mais pour les voitures lourdes, cette diminution présente moins d'intérêt, car, dans

certains cas, le poids du moteur doit assurer l'adhérence, c'est-à-dire engendrer la réaction qui fait avancer le véhicule. Mais pour l'application à la locomotion aérienne cette légèreté du moteur est nécessaire ; elle est une condition indispensable pour la direction dans l'aérostation, et elle s'impose absolument pour l'aviation, c'est-à-dire pour le plus lourd que l'air.

Avant les expériences de M. Santos-Dumont, il ne semble pas que les aéronautes aient été encouragés à étudier les moteurs à explosion. Notamment, M. Soreau dans sa communication de 1893 a déclaré que « malgré leurs qualités, les moteurs à » hydrocarbures offrent de grands inconvénients comme source » de force d'un ballon dirigeable ; ils ont, disait-il, une marche » peu régulière, ils exigent une grande quantité d'eau pour » rafraîchir les cylindres et nécessitent des assises robustes ; les » moins lourds pèsent encore 150 *kg* par cheval ; toutefois, M. » Escher Wyss et Cᵒ ont réduit ce poids à 100 *kg* en faisant la » carcasse et le bâti en bronze d'aluminium. »

Cependant, il ajoutait qu'en employant quatre cylindres et en réglant bien la déflagration, c'est-à-dire l'allumage, on pouvait arriver à diminuer les chocs et à construire des moteurs tonnants d'un poids avantageux. A ce propos, il annonçait que le commandant Renard avait construit un moteur à gazoline, pour conduire son nouveau ballon le *Général-Meusnier*, et qu'il devait peser 30 *kg* par cheval et en n'emportant seulement qu'une heure et demie d'approvisionnement.

En 1898, dans le résumé où M. Soreau a exposé d'une façon précise et didactique la question de l'aéronautique, il constatait que les moteurs à pétrole avaient fait de réels progrès, mais il disait encore que la force motrice doit être « obtenue à bord » d'un navire aérien, sans trépidations appréciables et que la » vitesse de l'arbre doit être aussi constante que possible sans » recourir pour cela à l'inertie de la matière, puisqu'il s'agit de » diriger. »

Je partage tout à fait l'avis de mon érudit Collègue, mais je me permets de dire qu'il a été bien sévère sur l'état d'avancement des moteurs à pétrole en 1898, qui, à cette époque déjà, auraient permis de tenter la démonstration faite par M. Santos-Dumont. De son côté, le colonel Renard, qui est partisan des aérostats de grandes dimensions pour avoir plus de stabilité, pense que la réduction du poids à 10 *kg* par cheval est suffisante pour obtenir un bon résultat.

Cependant, j'estime qu'il y aura toujours avantage à diminuer le poids du moteur, c'est-à-dire à supprimer son poids mort, pour pouvoir mieux affecter le poids rendu disponible à la stabilité, c'est-à-dire employer ce poids pour emmener plusieurs voyageurs, transporter les objets d'approvisionnement, les instruments vérificateurs, et peut-être même, plus tard, augmenter le confortable de la nacelle.

Sous ce rapport, on doit souhaiter de nouveaux perfectionnements qui conduiront non seulement à une meilleure régularité mais encore permettront de parvenir à l'extrême limite de la légèreté.

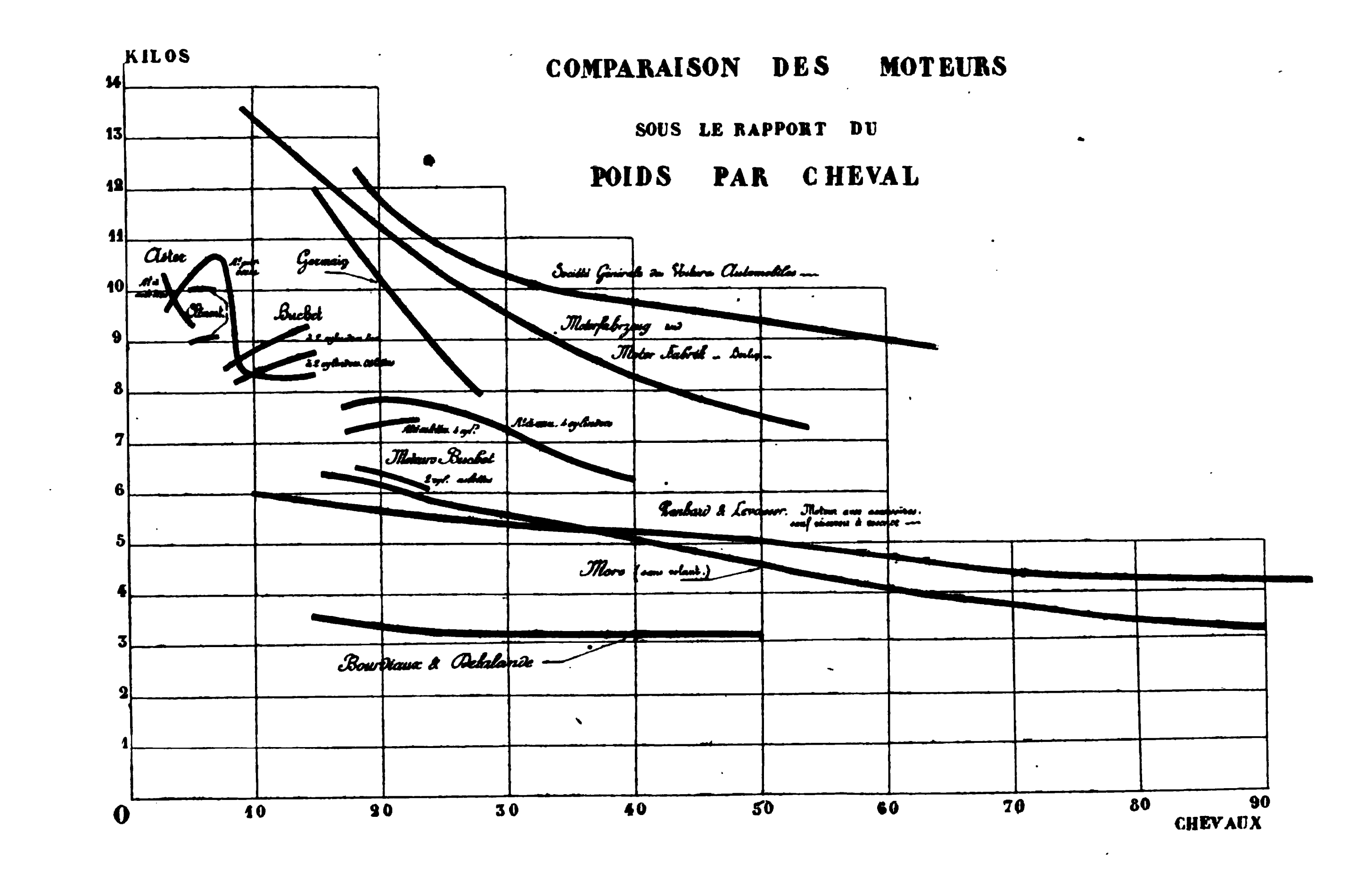
De l'enquête que j'ai faite près des principaux constructeurs de moteurs à explosion, surtout en France, résultent les renseignements suivants que j'ai résumés dans le tableau ci-contre.

Le refroidissement nécessaire pour empêcher l'échauffement excessif du cylindre s'effectue par des ailettes ou par circulation d'eau. La différence pour le poids est peu importante.

Parmi les constructeurs qui, dès à présent, peuvent rivaliser pour la construction des moteurs très légers, je citerai d'abord M. Buchet qui a fait le moteur des *Santos-Dumont*, la Société Mors, les Établissements Panhard et Levassor qui peuvent arriver à 5 *kg* par cheval pour des types de 50 *ch* et même à descendre à 3 pour 100 *ch*. Je signalerai le moteur Bourdiaux dont les ailettes sont en aluminium engagées sur des rainures héliçoïdales du cylindre et qui pèserait seulement 3,500 *kg* par cheval pour une puissance de 10 à 25 *ch* et 3,200 *kg* pour une puissance de 25 à 50 *ch*.

Pour l'approvisionnement il faut compter de 400 à 450 *g* de gazoline par cheval et par heure ; c'est le dixième à ajouter au poids du moteur et le même poids au départ si l'on veut faire un voyage de 10 heures.

Au point de vue de la stabilité du ballon, il serait préférable que la diminution de poids produite par la consommation du combustible fût compensée par une diminution dans la force ascensionnelle. Cette diminution pourrait être obtenue autrement qu'en perdant de l'hydrogène, par exemple en puisant de l'air dans l'atmosphère et en le comprimant dans un réservoir, ou bien en augmentant par des ailes planes ou par un gouvernail horizontal la résistance à la poussée ascensionnelle de l'aérostat.



COMPARAISON DES MOTEURS
SOUS LE RAPPORT DU
POIDS PAR CHEVAL
KILOS
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
CHEVAUX
Aster
Germain
Buchet
Société Générale des Voitures Automobiles
Motorfahrzeug und
Motor Fabrik
Moteurs Buchet
Panhard & Levassor.
Mors (sans volant.)
Bouvdiaux & Delalande

VII

Règles pour servir de base à la construction des aérostats dirigeables.

En 1884, le 11 août, au banquet que donnait notre Société à l'occasion de la réception des Ingénieurs belges et hollandais, un des plus éminents de nos anciens présidents, M. Tresca, dont je m'honore d'avoir été le disciple et qui a encouragé les premiers travaux que j'ai présentés à notre Société, allait terminer son toast lorsque le colonel Laussedat, l'ancien Directeur du Conservatoire, un de mes professeurs à l'École Polytechnique, lui remit une dépêche lui annonçant que, le jour même, les officiers de Chalais-Meudon avaient réussi à diriger leur ballon en liberté et M. Tresca s'écriait : Nous aurons bientôt des Ingénieurs de navigation aérienne.

En effet, le rôle de l'Ingénieur peut commencer aujourd'hui, car les données pour la solution du problème de la direction des aérostats sont acquises, tant par les résultats des expériences de l'École Aérostatique de Chalais en 1884 et 1885 que par les expériences récentes de M. Santos-Dumont qui a prouvé la possibilité d'appliquer le moteur à mélange tonnant à la propulsion des aérostats.

Sans proscrire les conceptions abstraites, les hypothèses et les déductions mathématiques auxquelles donnera lieu la question, on est en droit de dire que le moment est venu de passer de la théorie à l'application. Déjà, en 1886, le colonel Renard avait formulé des règles pour la construction de navires aériens en air calme. Il faut, disait-il, abstraction faite de la stabilité en altitude :

1° Donner à l'aérostat une forme allongée analogue à celle des bateaux;

2° Assurer la permanence de sa forme au moyen d'un ballonnet intérieur permettant de remplacer le gaz absent par de l'air atmosphérique;

3° Compléter la stabilité longitudinale déjà améliorée par le ballonnet en reliant la nacelle au ballon par une suspension rigide à réseaux triangulaires;

4° Installer un propulseur de dimensions convenables et le commander par un moteur aussi énergique que possible relativement au faible poids qu'on peut lui consacrer;

5° *Placer à l'arrière, comme dans les bateaux, un gouvernail permettant de changer la direction de la route.*

A ces règles, je me permettrai d'ajouter les indications suivantes :

1° *Employer un moteur à mélange tonnant d'au moins quatre cylindres pour que les parties mobiles, pistons et manivelles soient bien équilibrées, et assurer l'allumage par un distributeur électrique pour éviter les interruptions anormales dans l'un des cylindres;*

2° *Rapprocher le plus possible l'arbre de l'hélice motrice de l'axe longitudinal de l'aérostat, c'est-à-dire de la droite passant par le centre de pression;*

3° *Laisser toutefois entre ce centre de pression et le centre de gravité de l'ensemble du système, une distance assez grande pour avoir de la stabilité et augmenter la valeur du couple de rappel;*

4° *Pour rendre plus immédiat l'effet de ce couple dans le cas des petits aérostats, produire un couple de redressement auxiliaire et recourir à un poids mobile, mais de préférence au guide-rope comme l'a fait M. Santos-Dumont et, par une liaison mécanique, chercher à rendre automatique le déplacement du poids mobile destiné à rétablir l'équilibre;*

5° *Faire usage d'un moteur facilement réglable pour lui faire donner tout son travail dans les limites voulues, afin de se prêter aux variations inattendues de la résistance, en se servant de celles-ci pour commander impérativement l'appareil équilibreur;*

6° *Pour les gros aéronefs, employer deux hélices de propulsion, l'une à l'avant et l'autre à l'arrière, en les commandant par deux moteurs distincts.*

J'emprunte cette dernière indication au nouvel aéronef que fait construire M. Santos-Dumont pour son voyage au-dessus de la Méditerranée.

Son nouveau ballon, toujours en forme de fuseau ou cigare, aura une longueur de 50 *m* sur 7 de diamètre au maître-couple : il emportera deux moteurs de 45 *ch* chacun. Avec ces éléments il espère, et le calcul l'y autorise, pouvoir disposer d'une vitesse propre de 12 *m* qui lui permettrait de lutter contre un vent de 9 à 10 *m* au moins.

Vous joindrez certainement vos vœux aux miens pour que le hardi aéronaute triomphe dans sa nouvelle et hasardeuse entreprise.

VIII

Conclusion.

Il est temps de conclure.

Après avoir développé, peut-être un peu longuement, l'opinion que je me suis faite sur l'état de la question de la navigation aérienne, après les expériences de M. Santos-Dumont, je me demande s'il y a lieu de répondre au point d'interrogation que je m'étais posé au début.

M. Santos-Dumont a-t-il, oui ou non, fait faire un pas à la science. Je ne le crois pas, si l'on ne considère que le point de vue purement théorique de la question, car il n'était pas difficile de prévoir qu'avec un moteur léger et puissant on augmenterait la vitesse propre d'un aérostat dirigeable. Mais, au point de vue technique et industriel, celui qui doit être surtout envisagé par les Ingénieurs, il a fait plus, car, allant plus avant dans la voie ouverte par ses devanciers, et notamment par MM. Renard et Krebs, il a, par une manifestation éclatante, démontré la possibilité de diriger pratiquement un aérostat, et de le faire évoluer dans tous les sens, ayant réussi, dans l'épreuve du 19 octobre, à atteindre un but fixé et à revenir au point de départ dans un temps déterminé à l'avance.

S'il a pu triompher de cette double difficulté, c'est qu'il a eu l'heureuse idée de choisir pour son aéronef le moteur qui convenait le mieux au but proposé. D'autres avant lui ont pu émettre l'idée d'adapter un moteur à explosion à un ballon, mais il est le premier à en avoir réalisé l'application. Il a montré à son tour le chemin dans lequel on pouvait s'engager et il a donné naissance à une nouvelle industrie qui sera celle de la Locomotion aérienne.

Depuis le 19 octobre, jour où le prix Deutsch a été gagné, on commande des ballons dirigeables comme on a commandé des automobiles après la course de Paris-Marseille, où notre regretté Collègue, M. Levassor, avait remporté une victoire qui a hâté sa fin. Déjà, pour l'année prochaine, on prépare une course en dirigeables de Paris à Melun et le premier inscrit est l'un des champions de la course Paris-Berlin.

M. Santos-Dumont aura eu le grand mérite, et une bonne part en revient à M. Deutsch, d'avoir fait sortir de l'ombre et du

silence, où elle paraissait plongée en France, la question de la direction des ballons ; il a réveillé d'un sommeil de seize ans la solution pratique indiquée par les officiers de Chalais, et donné l'essor à la Navigation aérienne qui sera certainement une des manifestations les plus séduisantes de l'activité humaine.

De même que, pour conduire les automobiles, il faut des chauffeurs expérimentés et des hommes d'une grande hardiesse et de beaucoup de sang-froid, surtout lorsqu'il s'agit de courses de vitesse, de même il faudra des aéronautes adroits et vaillants pour conduire les premiers aérostats dirigeables, et c'est M. Santos-Dumont qui leur aura donné l'exemple de la décision et du courage.

C'est grâce au génie audacieux de deux Français, les frères Montgolfier, que l'homme, pour la première fois, a réussi à s'enlever dans les airs. C'est également parmi nos compatriotes qu'on compte les hommes qui ont le plus contribué à faire avancer la science de l'aérostation et, aux noms de Pilate des Rosiers, Charles Bixio, Sivel et Crocé-Spinelli, je dois joindre ceux plus récents de MM. Hervé, de La Vaulx, Castillon de Saint-Victor. Les essais de ces derniers pour franchir la Méditerranée ne seront pas stériles et peut-être qu'un jour le déviateur et le stabilisateur seront annexés aux dirigeables qui auront à voyager au-dessus des mers.

Comme on le voit, les découvertes fécondes en aéronautique demeurent éminemment françaises et elles ne perdent pas ce caractère avec M. Santos-Dumont qui, ainsi que l'indique son nom, a du sang français dans les veines. Nous devons lui être reconnaissants d'avoir choisi notre pays pour le champ de ses expériences qui lui assurent, à côté de MM. Renard et Krebs, une gloire impérissable dans l'histoire de la Navigation aérienne.

LES CHEMINS DE FER
AUX INDES NÉERLANDAISES
(JAVA ET SUMATRA)

PAR

M. Auguste MOREAU

INTRODUCTION

Un de nos plus distingués Collègues, M. Post, bien connu de la Société, vient de passer plusieurs années à construire dans les Indes Néerlandaises des chemins de fer à voie étroite qui, sous bien des rapports, présentent des conditions particulièrement intéressantes.

Après avoir déjà exposé en partie la question au dernier Congrès des chemins de fer et au Congrès colonial international, il a bien voulu compléter et rafraîchir les renseignement qu'il possédait à ce sujet et nous les transmettre ; ces matériaux nous ont paru devoir faire l'objet d'une très utile communication pouvant servir fructueusement aux nombreux Ingénieurs s'occupant des questions de chemins de fer à voie réduite, et en particulier des chemins de fer coloniaux, spécialement à l'ordre du jour depuis quelques années. C'est cette communication que nous prenons aujourd'hui la liberté de présenter à la Société des Ingénieurs civils de France.

Considérations générales sur les chemins de fer en pays neufs.

Il n'est pas toujours facile dans les pays neufs de trouver les capitaux nécessaires à l'établissement des nouvelles lignes de chemins de fer et cela s'explique. Quand on voit souvent dans la Métropole des lignes secondaires péricliter, et quelquefois sombrer, au milieu de la civilisation et du mouvement d'une contrée européenne avancée, toutes les craintes sont légitimes

dans une colonie éloignée, manquant de voies de communications et où la population est souvent fort peu dense sur un vaste territoire.

Le cas s'est présenté pour le transcontinental canadien par exemple, quoique le Canada ne puisse plus être considéré cependant comme un pays absolument neuf. Des tentatives furent faites pour amener les capitalistes à en entreprendre la construction, mais elles échouèrent toutes, spécialement à cause de cette obligation posée par le Parlement que la ligne serait construite sans aucune charge pour le pays, et par l'espoir que de vastes concessions de territoires suffiraient pour engager les capitaux à affluer vers cette entreprise. L'affaire lancée en 1871 ne reçut un commencement d'exécution qu'en 1879 et c'est le Gouvernement qui a dû en supporter tous les frais. Ce n'est qu'en 1880 que la question reçut sa solution définitive actuelle : un contrat fut conclu avec la « Canadian Pacific Railway C^y » pour la construction et l'exploitation de la ligne, en échange d'une subvention ferme de 25 millions de dollars, d'une concession de 25 millions d'acres de terres domaniales sur une zone de 24 miles de largeur de part et d'autre de la ligne projetée dans une riche région de prairies (Winnipeg), c'est-à-dire la moitié des terres de cette zone. Le Gouvernement s'engageait en outre à retrocéder à la Compagnie après leur complet achèvement deux lignes importantes qu'il était en train de construire et ont coûté 30 millions de dollars.

Et cela est de toute justice car c'est l'État, c'est-à-dire la nation qui retire les principaux avantages d'une semblable entreprise : avantages stratégiques, politiques, économiques, etc. Aussi le plus souvent c'est lui et lui seul qui est obligé de se charger de tout et c'est ce qui est arrivé aux Indes néerlandaises.

En outre, et au point de vue purement colonisateur, ces lignes nouvelles font souvent surgir des agglomérations inattendues qui deviennent rapidement des provinces importantes et prospères. Tel est le cas par exemple au Canadian Pacific, de la province nouvelle de Manitoba et de quatre autres États embryonnaires appelés à l'avenir de leurs devanciers. Le progrès matériel qui suit la création d'un pareil chemin de fer, en est généralement le caractère le plus net et le plus tangible ; il provoque immédiatement une activité qui augmente rapidement les ressources naturelles du pays. Il résulte d'ailleurs des surprises nombreuses et complètement inattendues ; les régions les plus ingrates au

premier abord se révèlent quelquefois comme de la plus haute valeur économique. Nous ne citerons à l'appui de ce fait que les mines de Nickel de Sudbury dans la région du Lac Supérieur, qui furent découvertes uniquement par suite de la construction de la ligne et sont aujourd'hui reconnues comme des plus importantes du monde.

En dehors des richesses minières qu'on découvre ainsi souvent, les entreprises agricoles peuvent se créer et devenir prospères, alors qu'elles n'auraient pu songer seulement à exister sans la voie ferrée. De vastes étendues de terres sont ainsi rapidement peuplées et cultivées par des émigrés d'Europe habilement secondés par les indigènes, quand on sait tirer parti de leurs qualités naturelles. Des villes nouvelles se créent, l'industrie se développe, le commerce prospère et tout cela est uniquement dû aux moyens rapides et économiques de transports, c'est-à-dire toujours aux chemins de fer. Et comme ce dernier aboutit généralement à un port de la côte, la navigation maritime, les importations et les exportations avec la Métropole en profitent immédiatement.

Il y a donc là, nous le répétons, œuvre éminemment nationale, et il est du devoir de la nation elle-même de prendre à sa charge les premiers frais nécessités par de semblables entreprises, exposées sans cela, au moins dans les premières années, aux plus graves mécomptes financiers. C'est le chemin de fer ici qui doit précéder la civilisation et l'industrie, alors que dans nos régions il serait illogique d'établir, à moins de nécessité reconnue et en le subventionnant, un chemin de fer qui ne pourrait espérer des recettes suffisantes pour vivre de ses propres ressources.

PREMIÈRE PARTIE

CHEMINS DE FER DE JAVA

I. — Composition du réseau.

Le réseau des chemins de fer de l'État de Java a été exploité par l'État Néerlandais et construit par lui sauf la ligne de Batavia Est qui comporte 63 *km* et a été rachetée à une Compagnie privée en 1898.

Il se compose comme suit :

Le réseau de l'Est comprend les lignes à l'est de Solo (province de Sourakarta) ; celui de l'Ouest se compose de celles situées à l'ouest de Djokya (province contiguë de Djokjokarta). Ces deux réseaux sont à écartement de 1,067 *m* et reliés par la ligne privée de Solo-Djokja de 54 *km* et à écartement de 1,435 *m*. On vient de poser sur cette ligne, aux frais de l'État, un troisième rail, afin de pouvoir y continuer la circulation générale des premières. Au 1er janvier 1899, le réseau de l'Est avait une longueur de 812 *km* (dont 7,5 *km* à double voie et 2,5 *km* à triple voie) et le réseau de l'Ouest 667 *km* (dont 19 *km* à double voie); ce qui fait, pour les chemins de fer de l'État de Java, 1 479 *km* dont 26,5 *km* à double voie et 2,5 *km* à triple voie.

La longueur totale des chemins de fer de l'État et privés aux Indes Néerlandaises (Java et Sumatra) était au 1er janvier 1899 de 2 052,5 *km*, plus 1 005 *km* de tramways à vapeur et 70 *km* de tramways militaires spéciaux, également à vapeur.

Au 1er janvier 1900, la longueur du réseau ouest atteignait 766 *km*, ce qui portait l'ensemble des deux réseaux à 1 578 *km*, les parties à double et triple voie n'ayant pas changé.

La longueur totale des lignes, tant privées que de l'État, pour les îles de Java et Sumatra, s'élevait à la même époque à 2 151,5 *km*, plus 1 169 *km* de tramways à vapeur, sans compter un de ces derniers uniquement destiné aux transports militaires et comptant environ 100 *km*. *(Voir pages 936 et 937.)*

II. — Avant-projets. Études préliminaires.

Les études des lignes nouvelles présentent ordinairement en Hollande deux phases, comme d'ailleurs cela se fait en général :

La première est un avant-projet peu approfondi, ayant simplement pour but de se rendre sommairement compte du meilleur tracé possible et de la dépense approximative correspondante.

On constitue ainsi un dossier que l'on présente au Gouvernement et que celui-ci soumet aux Chambres (États généraux). Le crédit une fois voté, on procède aux études définitives qui permettent d'améliorer les premières, de fixer le tracé et de préciser la dépense qui, le plus généralement n'atteint pas les prévisions.

Comme base de son travail, l'Ingénieur en chef n'a que la largeur de la voie 1,067 *m* et la recommandation de ne pas dépasser, si possible, le maximum des rayons des courbes et des déclivités que présentent déjà les voies ferrées sur lesquelles la ligne nouvelle doit se raccorder. Quant aux ouvrages d'art, tunnels, viaducs, etc., ils sont complètement laissés à son appréciation et à son expérience, et cela d'autant plus, qu'à Java, il y a des régions dont on ne possède encore aucune carte méritant ce nom. Pour d'autres, au contraire, il existe des cartes au 1/100 000ᵉ avec planches de détails au 1/20 000ᵉ et courbes de niveau de 10 en 10 mètres.

Quoiqu'il soit fort désirable en principe de construire vite, on n'a pas voulu sacrifier les facilités et l'économie de l'exploitation ultérieure, et sans tomber dans l'abus, on n'a pas appliqué des procédés de trop parcimonieuse économie : cela a été d'autant plus facile, que la ligne était construite avec les deniers de l'État, toujours moins regardant qu'une Compagnie particulière et moins géné par les comptes à rendre aux contribuables, qu'un Conseil d'administration devant une assemblée d'actionnaires.

III. — Infrastructure.

Ouvrages d'art. — L'écoulement des eaux de pluie et l'irrigation des rizières ont exigé un grand nombre de conduites passant en dessous et au-dessus du chemin de fer : on a fait, dans les différents cas, usage des moyens suivants :

Tuyaux étirés en fer pour les petits diamètres.

Tuyaux en fonte pour diamètres allant jusqu'à 1,25 *m*.

Conduites ouvertes de 0,60 *m* ou de 2,60 *m* en maçonnerie, franchies par le rail sur une longrine en bois, appliquées lorsque le niveau de l'eau n'est que peu en-dessous du rail ;

Conduites ouvertes en tôle passant au-dessus du gabarit de libre parcours;

Siphons en tuyaux de fonte et à culées en maçonnerie ;

Aqueducs ordinaires et ponceaux simples ou doubles en maçonnerie et rarement en dalles;

Aqueducs à chute d'eau avec caniveaux en dalles dans le talus.

En dehors de cela, de nombreux et importants cours d'eau ont exigé des ponts qui sont presque exclusivement métalliques, en fer ou acier doux.

Les tabliers de 2 à 5 *m* de travée sont en poutrelles laminées, simples ou doubles, selon la hauteur disponible.

Les tabliers de 6 à 10 *m* de travée sont à poutres rivées en tôle ; ceux de 12 à 80 *m* de travée sont en treillis.

Les piles sont, en général, en maçonnerie, sauf pour les grandes hauteurs, pour lesquelles on a souvent préféré le métal dans la partie située au-dessus des grandes crues.

Les tabliers métalliques allant jusqu'à 10 et 12 *m* d'ouverture ont été pour la plupart assemblés aux ateliers se trouvant en général à l'origine de la ligne, d'où est partie la pose de la voie.

Pour le montage des tabliers de portées supérieures à 10 *m*, on a appliqué divers procédés suivant les circonstances ; soit par échafaudages provisoires en bois, soit par lancement.

Certains viaducs de plusieurs travées ont été lancés à de très grandes hauteurs au-dessus du sol; tel est le cas du viaduc de Tjitaroum qui présente une poutre continue de 162 *m* de longueur avec deux piles intermédiaires, le rail se trouvant à 64 *m* au-dessus du niveau de la rivière.

En outre du précédent, on rencontre un certain nombre d'ouvrages importants qui peuvent donner une idée de la nature accidentée du pays si l'on se rappelle que la ligne est établie à voie étroite.

Viaduc Tjimanouc, en alignement : 3 travées de 30 *m* chacune, 2 piles de 29 *m* de hauteur dont 10 *m* en maçonnerie et les 19 *m* supérieurs métalliques.

Viaduc Métro, en alignement : 3 travées de 39 *m* et 2 de 16 *m*, 2 piles de 35 *m*, dont 31 *m* en fer et 2 piles en maçonnerie.

Viaduc Tjitandoui, en alignement, établi à la fois pour le

chemin de fer et une route latérale : 3 travées de 62 *m* chacune, 2 piles de 44 *m* de hauteur dont 31 *m* en fer.

Viaduc Lawor, en alignement : 4 travées de 39 *m* et 1 de 16 *m*, 2 piles en grande partie en fer, de 40 *m* et 1 de 28 *m*, 1 pile en maçonnerie.

Viaduc Tjibankrong, en courbe de 200 *m* de rayon : 8 travées de 16 à 17 *m*, 2 piles en maçonnerie et 5 piles métalliques.

Viaduc Tjikérang, en courbe de 150 *m* de rayon : 9 travées de 16 à 17 *m*, 2 piles en maçonnerie et 6 piles métalliques dont 2 ont 32 *m* de hauteur, sur lesquels 26 *m* sont en fer.

Matériaux. — Les matériaux nécessaires pour la construction des ouvrages d'art ont été amenés par des charrettes à buffles ou à bœufs, à pied d'œuvre, au moyen des routes très belles qui sillonnent l'État de Java ; mais pour les pièces lourdes des ponts métalliques il fallait en général attendre la pose de la voie ferrée.

La maçonnerie des culées, piles, etc., a été construite en moellons provenant des tranchées voisines, ou en gros graviers pris dans le lit même des cours d'eau. Les briques ordinaires ont été fabriquées dans le pays et revenaient par suite à pied d'œuvre à assez bon compte.

Les briques dures spéciales (klinkers) pour les piles et culées provenaient de Hollande.

Les pierres de taille, faute d'ouvriers locaux, ont dû être amenées d'Europe, ce qui revient assez cher ; aussi, en dernier lieu, a-t-on employé des briques spéciales recouvertes d'une couche de ciment, qui ont donné un bon résultat. La chaux ordinaire est d'assez bonne qualité, mais la chaux hydraulique n'existe pas à Java. Pour le mortier correspondant, on s'est servi de ciment rouge fabriqué avec des déchets de briqueterie.

Le bois djatti a été employé avec succès pour les traverses et, en général, pour toute la charpente et la menuiserie ; le bambou a été réservé pour les constructions provisoires.

Pour couvrir les toitures de ces dernières, on emploie l'herbe en bottes, les feuilles de quelques espèces de palmiers et des plaquettes en bois que l'on applique en guise d'ardoise. Pour les toitures permanentes, on a fabriqué de très bonnes tuiles à Java ; on a aussi employé la tôle galvanisée d'Europe quand les tuiles ont fait défaut.

Les indigènes de Java (Soudanais, Javanais, Madurais, etc.)

ont fourni la main-d'œuvre pour la construction des diverses lignes du réseau. Des coolies chinois, race robuste et travailleuse, ont été employés pour les travaux pénibles; il y avait également beaucoup de charpentiers, peintres, menuisiers, etc., d'origine chinoise.

Les écoles des métiers à Batavia, Samarang et Modjowarus, commencent à fournir des contremaîtres et des artisans instruits et pouvant rendre des services.

Le Gouvernement des Indes Néerlandaises a utilisé, dans les contrées de Java où la population est peu dense, les forçats aux travaux de chemins de fer et en a obtenu de bons résultats. D'une manière générale on a mis en pratique l'excellent système des petites entreprises, et le travail en régie pour certains travaux exigeant un soin particulier, comme la pose de la voie.

Les journées de travail étaient de dix heures effectives.

Le salaire journalier du coolie indigène varie de 0,80 *f* dans l'ouest de Java à 1 *f* dans l'est.

Dans les contrées où le personnel ne trouvait pas de logement, on construisait souvent des habitations, en général provisoires, mais quelquefois permanentes, et devant servir plus tard de domicile aux fonctionnaires de l'exploitation; pour les Européens et les Indo-Européens, les demeures permanentes étaient en pierre, briques ou bois, et les maisons provisoires partie en bois (ossature) partie en bambou (panneaux tressés pour les parois); les habitations pour les indigènes, construites en général par les entrepreneurs et pour leurs besoins, étaient en bambou avec couvertures en herbes sèches ou en feuilles tressées de palmier.

Des cantines s'ouvrirent qui vendaient du riz, du poisson, des viandes séchées, du piment, des sucreries, du café, des limonades, etc.

Les forçats étaient nourris aux frais de l'État et concédés par adjudication à des entrepreneurs chinois.

IV. — Voie.

L'écartement normal mesuré entre les champignons des rails est de 1,067 *m* en alignement; ces lignes sont donc à voie étroite.

Le surécartement dans les courbes varie de 4 à 25 *mm* et le surhaussement du rail extérieur ou dévers, de 22 à 90 *mm*.

Les déclivités maxima sont les suivantes :

1° Réseau de l'Est . .	en plaine. . . .	6,7	*mm*	par mètre.
	en montagne . .	23	*mm*	—
2° Réseau de l'Ouest .	en plaine. . . .	5	*mm*	—
	en montagne . .	25	*mm*	—
		40	*mm*	—

Les points culminants se trouvent :

1° Réseau de l'Est, à 535 *m* au-dessus du niveau de la mer;

2° Réseau de l'Ouest, à 847 *m* au-dessus du même.

Ce dernier présente un tunnel de 683 *m* à 650 *m* d'altitude :

Les rayons minima des courbes sont les suivants :

1° Réseau de l'Est . .	en plaine. . . .	300 *m*
	en montagne . .	300 *m*

Sauf l'embranchement de Soemberkalak-Sitoebondo de 1 800 *m* qui présente des courbes de 150 à 200 *m* de rayon.

2° Réseau de l'Ouest.	en plaine. . . .	400 *m*
	en montagne . .	150 *m*

On rencontre, chose à remarquer, des alignements qui dépassent 20 *km*.

Le rail est en acier à patin, du poids normal de 25,7 *km* le mètre courant.

Les barres avaient primitivement une longueur normale de 6,80 *m*, et depuis 1893, grâce aux progrès de cette fabrication, on leur donne une longueur de 10,200 *m*.

Les traverses sont en bois djatti équarri et non injecté; leur longueur est de 2 *m*, la largeur de 0,22 *m* environ, l'épaisseur de 0,12 *m*. Elles pèsent environ 56 *kg*.

Le rail est posé à joints en porte-à-faux; il y a 12 traverses par rail de 10,20 *m* et 8 pour ceux de 6,80 *m*, sauf dans les courbes de rayon inférieur à 350 *m*, et dans les pentes de plus de 14 *mm* par mètre, où l'on met 14 traverses par 10,100 *m* et 9 traverses par 6,800 *m* de voie.

Les éclisses sont en forme de cornières, et des encoches pratiquées dans l'aile horizontale reçoivent les attaches, ce qui empêche les cheminement des traverses de joints.

V. — Traction.

La traction se fait à vapeur au moyen de locomotives à adhérence ordinaire. Il y a 9 types de locomotives sur le réseau de l'Est et 9 sur celui de l'Ouest, en tout 18 types dont le poids total en charge varie de 14 200 à 33 500 *t*.

Les poids d'adhérence sont :

Réseau de l'Est. — Pour la locomotive la plus puissante, en charge, de 25,4 *t* et à vide de 19,800 *t*.

Pour la locomotive la plus légère, en charge de 9,800 *t* et à vide de 8,100 *t*.

Réseau de l'Ouest. — Pour la locomotive la plus puissante, en charge, de 25,8 *t* et à vide de 20,1 *t*.

Pour la locomotive la plus légère, en charge de 14,8 *t* et à vide 12 *t*.

La charge la plus forte par essieu est de 9 *t* pour le réseau de l'Est et 9,2 *t* pour celui de l'Ouest.

Le nombre maximum de véhicules et le poids utile maximum que remorque chaque locomotive varient naturellement :

1° Suivant le type de locomotive;

2° Suivant le tracé de la ligne (rampes et courbes);

3° Suivant la direction du train (montant ou descendant);

4° Suivant la nature de ce train (voyageurs, mixte ou marchandises);

Au réseau de l'Est, le poids utile maximum varie de 88 à 324 *t*, le nombre des véhicules de 16 à 50.

Au réseau de l'Ouest, le poids utile maximum varie de 84 à 324 *t*, en supposant double traction sur les deux lignes les plus accidentées, de Laucpegau-Tjibeber (9 *km*) et Tjipattat-Padalarang (16 *km*).

Le nombre maximum de véhicules varie de 15 à 30.

Le combustible employé pour les locomotives est le charbon provenant principalement des charbonnages de l'Ombilin (Sumatra) exploités par l'État et desservis par un chemin de fer spécial à crémaillère que nous étudierons plus loin.

Ce charbon revient de 32 à 35,30 *f* la tonne de 1 000 *kg* dans les ports de Java.

On consomme aussi une certaine quantité de charbon d'Europe, ordinairement du Cardiff.

Le prix moyen du charbon dans les dépôts a été, en 1898, par tonne de 1 000 *kg*, de :

Réseau de l'Est	35,92 *f*
Réseau de l'Ouest	38,69 *f*

Des essais se font avec des résidus de pétrole provenant d'exploitations pétrolifères locales.

Le nombre total de kilomètres parcourus par les locomotives sur les chemins de fer de l'État à Java a été en 1898 :

sur le réseau de l'Est de. . .	3 517 659 *km*
sur le réseau de l'Ouest. . . .	3 562 392
Total.	7 080 051 *km*

Le même parcours, en 1899, s'est élevé à :

Réseau de l'Est.	4 006 545 *km*
Réseau de l'Ouest.	3 907 915
Total.	7 914 460 *km*

VI. — Matériel roulant.

La charge utile est de 20 *t* pour les wagons à marchandises sur trucks à 2 essieux chacun ; elle est de 8 *t* pour les wagons à marchandises du type ordinaire à 2 essieux.

Le nombre de places pour voyageurs, par voiture, varie de 100 (4e classe) à 16 (1re classe).

L'empattement rigide maximum des wagons et voitures est de 4,40 *m* entre 2 essieux fixes.

On emploie des bogies à 2 essieux, des bissels à 1 essieu, le système Kiebitz (2 essieux) et le système Clémenson (2 et 3 essieux).

L'attelage des véhicules est à tampon et crochet central automatique, avec double chaîne de sûreté ; il sert à la fois à la traction et au choc. Les parties métalliques des véhicules viennent d'Europe et le bois est en général de Java ; on se sert principalement du bois djatti. La menuiserie, la carrosserie et le montage se font dans les ateliers du chemin de fer où les ouvriers indigènes et chinois rendent de bons services.

Les voitures sont à intercommunication. Il y a 4 classes de voyageurs, mais la 4e classe n'existe que sur la ligne de Cand-

jaing-Priok (port) à Batavia (ville) pour le transport des coolies du port.

Le toit des voitures est double ou à lanterne, afin d'assurer la ventilation et de préserver de la chaleur.

Les fenêtres des compartiments de 1re et de 2e classes peuvent se fermer au choix par des glaces, par des panneaux mobiles ou jalousies, ou encore par des toiles métalliques mettant à l'abri des poussières.

Pour la ligne de Batavia-Sourabaïa (916 *km*), on a construit pour les trains directs, des voitures mixtes spéciales de 1re et 2e classes qui ont un cabinet de toilette et 18 à 25 places, dont 6 à 8 de 1re classe et 12 à 17 de 2e classe.

Quelques-uns des sièges peuvent se transformer en couchettes-divan, de manière à ce que 3 sièges de 1re classe forment 2 couchettes.

Le nombre de véhicules en exploitation au 1er janvier 1899 était de :

	Locomotives.	Voitures.	Wagons divers.
Réseau de l'Est. . . .	135	255	2 160
Réseau de l'Ouest. . .	127	225	1 415
Ensemble. .	262	480	3 575

Au 1er janvier 1900, ce nombre avait augmenté comme suit :

	Locomotives.	Voitures.	Wagons divers.
Réseau de l'Est. . . .	136	262	2 943
Réseau de l'Ouest. . .	125	246	1 353
Ensemble. .	261	508	3 846

VII. — Exploitation.

La vitesse maxima de l'exploitation permise sur les diverses lignes varie :

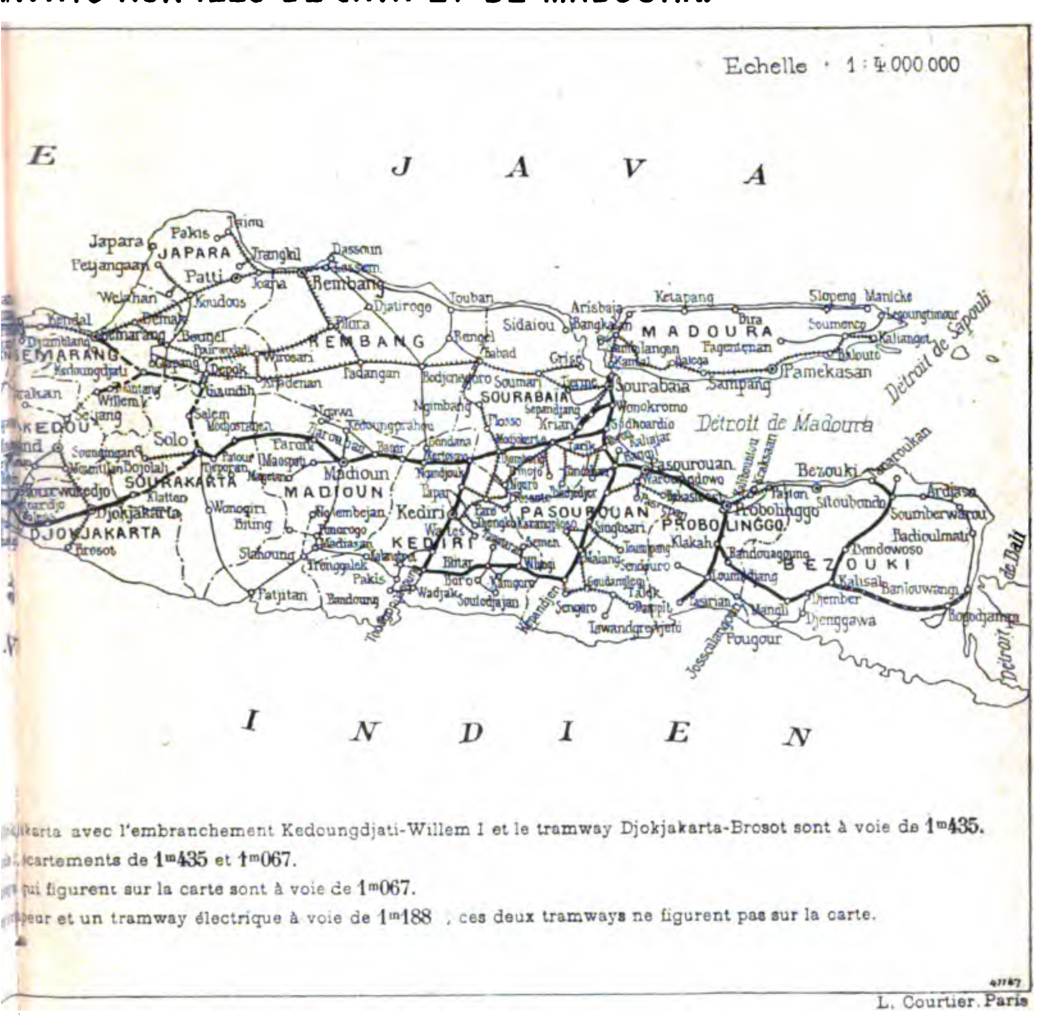
Sur le réseau de l'Est de 60 à 40 *km* à l'heure pour les trains de voyageurs, de 40 à 35 *km* pour les trains mixtes et de 40 à 25 pour les trains de marchandises.

Sur le réseau de l'Ouest de 60 à 30 *km* à l'heure pour les trains de voyageurs, de 45 à 30 *km* pour les trains mixtes et de 40 à 20 pour les trains de marchandises.

CARTE DES CHEMINS DE FER ET DES T



WAYS AUX ILES DE JAVA ET DE MADOURA.



…karta avec l'embranchement Kedoungdjati-Willem I et le tramway Djokjakarta-Brosot sont à voie de 1m435.

…cartements de 1m435 et 1m067.

…qui figurent sur la carte sont à voie de 1m067.

…peur et un tramway électrique à voie de 1m188, ces deux tramways ne figurent pas sur la carte.

Dans l'exploitation des chemins de fer coloniaux de l'État, le principe est de remplacer, autant que possible, les Européens par des indigènes, ce qui donne une notable économie et de bons résultats. Ainsi, actuellement, tous les mécaniciens, les conducteurs, etc., sont indigènes; les postes subalternes administratifs sont souvent occupés par des Indo-Européens (race mixte). La surveillance administrative et technique seule est confiée à des Européens quand il s'agit de postes de quelque importance.

RECETTES ET DÉPENSES D'EXPLOITATION.

Le nombre des voyageurs est assez constant toute l'année. ainsi les recettes brutes par jour-kilomètre de transport des voyageurs étaient en 1898 :

Réseau de l'Est :

Maximum en février . .	16,80 *f* moyenne.
Moyenne de l'année. . .	14,82 *f*
Minimum en avril. . . .	13,76 *f* moyenne.

Réseau de l'Ouest :

Maximum en septembre.	14,07 *f* moyenne.
Moyenne de l'année. . .	12,52 *f*
Minimum en janvier . .	11,76 *f* moyenne.

Il en est autrement du service des marchandises qui est surtout intense à l'époque du transport des récoltes, c'est-à-dire aux mois de juillet et août.

Les recettes brutes par jour-kilomètre ont été, en 1898 :

Réseau de l'Est :

Maximum en août . . .	40,32 *f* moyenne.
Moyenne de l'année. . .	23,94 *f*
Minimum de l'année . .	14,62 *f* moyenne.

Réseau de l'Ouest :

Maximum en juillet et août	28,88 *f* moyenne.
Moyenne de l'année. . .	18,12 *f*
Minimum en janvier . .	12,50 *f* moyenne.

Les chemins de fer de l'État à Java ont transporté, en 1898 :

Réseau de l'Est :

3 700 000 voyageurs, 131 300 000 voyageurs-kilométriques et

854 000 *t* de marchandises correspondant à 82 millions de tonnes-kilométriques.

Réseau de l'Ouest :

4 600 000 voyageurs correspondant à 109 millions de voyageurs-kilométriques et 491 000 *t* de marchandises correspondant à 51 millions de tonnes-kilométriques.

La moyenne de trains-kilométres mis en circulation a été :

	Voyageurs.	Marchandises.
Réseau de l'Est.	33	97
Réseau de l'Ouest. . . .	31	104

L'année suivante, en 1899, ces chiffres devenaient en voyageurs et marchandises transportés :

	Voyageurs.	Marchandises.
Réseau de l'Est. . . .	3 750 000	973 000 *t*
Réseau de l'Ouest . . .	5 300 000	581 000 *t*

La dépense kilométrique moyenne et annuelle de l'exploitation a été, en 1898 de 8 051 *f* ainsi répartis :

Réseau de l'Est.	7 963 *f*
Réseau de l'Ouest.	8 156 *f*

La recette brute kilométrique, en 1898, a été :

Réseau de l'Est.	15 441 *f*
Réseau de l'Ouest.	12 253 *f*
Moyenne de l'ensemble . . .	13 847 *f*

En 1899, ces chiffres devenaient, pour la dépense kilométrique :

Réseau de l'Est.	8 182 *f*
Réseau de l'Ouest.	8 308 *f*
MOYENNE.	8 240 *f*

Correspondant à des recettes de :

Réseau de l'Est.	17 319 *f*
Réseau de l'Ouest.	12 400 *f*
MOYENNE.	15 028 *f*

Les derniers tarifs pour voyageurs et pour marchandises, qui datent de 1893 et 1894, sont dégressifs pour des distances variant de 1 à 1 350 *km* pour les voyageurs et de 1 à 1 200 *km* pour les marchandises.

Le tarif des voyageurs de 3e classe (indigènes) est très réduit; ainsi, pour une distance de 4 à 250 *km* il n'est que de 0,02 *f* par kilomètre.

Il y a, pour les indigènes, des billets d'aller et retour de 1 à 30 *km*, qui valent 0,02 *f* par kilomètre.

Pour le transport en 4e classe (coolies), il n'est que de 0,01 *f*.

Il existe aussi des cartes d'abonnement pour les élèves des écoles.

Pour les lignes accidentées, il y a une certaine majoration du tarif des voyageurs.

Les recettes brutes moyennes de voyageurs par kilomètre étaient en 1898 :

Par voyageur de 1re classe.	0,11 *f*
— 2e classe.	0,075 *f*
— 3e et 4e classes . . .	0,027 *f* à 0,01 *f*

Sur 100 voyageurs, il n'y en a que 4 1/2 0/0 de 1re et 2e classes réunis, contre 95 1/2 de 3e et 4e classes.

Le tarif par tonne-kilométrique de marchandises en petite vitesse, qui est par exemple de 0,21 *f* pour la classe la plus élevée pour 100 *km* de parcours, descend à 0,02 *f* pour la classe la plus basse, pour 1 200 *km*.

Pour les lignes accidentées, il y a majoration du tarif des marchandises.

Les marchandises produisant le plus fort tonnage sont actuellement le sucre, la canne à sucre et ses boutures, le riz, le bois, le café, le sel, le pétrole, etc.

Les recettes brutes kilométriques moyennes étaient, en 1898, de 0,085 *f* par tonne de marchandises.

L'exploitation se fait à simple voie à l'exception de 26 1/2 *km* à double voie et 2 1/2 *km* à triple voie.

Elle s'opère par communication télégraphique (signaux fixes, sémaphores, disques, etc.), et dans plusieurs stations on a pratiqué l'enclenchement des signaux avec les changements de voie. Les trains circulent le moins possible avant 6 heures du matin et après 6 heures du soir, avant et après le coucher du soleil.

Les transbordements sur fleuves sont très rares, car il n'existe que très peu de navigation fluviale à Java.

Les transbordements sur mer se font soit par grues, soit à bras d'homme, s'il existe des quais d'embarquement; dans le cas contraire, ils se font par bateaux ou barques.

Tableau résumé concernant l'exploitation de la ligne principale Batavia-Sourabaïa (916 *km*) :

	DISTANCE en KILOMÈTRES	HAUTEUR en mètres au-dessus de la mer		VITESSE en KILOMÈTRES PAR HEURE	DURÉE DU TRAJET en MINUTES
		1re station	Point le plus élevé de la section		
Batavia-Buitenzorg . .	50	2	»	43	70
Buitenzorg-Tjiandiour.	96	246	632	31	189
Tjiandiour-Bandoung .	60	439	738	51	115
Bandoung-Tjiamis . .	133	710	848	33	241
Tjiamis-Maoss	101	198	»	44	137
Maoss-Koutoardio. . .	89	8	»	40	135
Koutoardio-Watess . .	36	16	»	44	49
Watess-Djokjakarta. .	28	18	»	41	41
Djokjakarta-Solo . . .	60	113	151	47	76
Solo-Madioun	97	96	»	42	140
Madioun-Kertosono . .	69	64	110	45	92
Kertosono-Modiokerto.	39	43	»	41	57
Modiokerto-Sidhoardio.	32	22	»	44	44
Sidhoardio-Sourabaïa.	26	4	»	42	37
Batavia-Sourabaïa . .	916	2	848	»	23h,43m

La ligne Krawand-Padalarang (en construction) réduira d'environ 36 *km* la longueur du trajet Batavia-Sourabaïa.

VIII. — **Frais de premier établissement.**

Le prix moyen de construction du kilomètre, jusqu'au 1er janvier 1899, a été de :

Pour le réseau de l'Est, environ . . . . 144 000 *f*
Pour le réseau de l'Ouest, environ . . . . 186 000 *f*
En moyenne pour les chemins de fer de l'État à Java, environ . . . . 160 000 *f*

Les dépenses totales de construction, jusqu'au 1er janvier 1899, ont été : pour le réseau de l'Est, environ 117 millions de francs; pour celui de l'Ouest, environ 124 millions et pour l'ensemble des chemins de fer de l'État à Java, environ 241 millions.

Le rendement du capital de construction a été, pour l'année 1898 : pour le réseau de l'Est, de 5,16 0/0; pour celui de l'Ouest, de 2,30 0/0 et pour l'ensemble des chemins de fer de l'État à Java, de 3,62 0/0.

Au 1er janvier 1900, les mêmes dépenses s'élevaient, pour le réseau Est, à 119 millions et pour le réseau Ouest à 125, soit, au total, 244 millions.

Le rendement du capital de premier établissement, pour l'exercice 1899, a été :

Pour le réseau Est, de	6,45 0/0
Pour le réseau Ouest, de	2,24 0/0
Et pour l'ensemble	4,16 0/0

IX. — Conclusions.

La construction des chemins de fer de l'État a valu à ce dernier, en plus des revenus inhérents aux transports mêmes, des avantages indirects de nature économique, stratégique et politique.

Les résultats obtenus ont donné d'ailleurs pleine satisfaction. Les lignes construites rendent de grands services à la population indigène de Java ainsi qu'aux Européens. Elles sont utiles non seulement pour l'agriculture, l'industrie, le commerce, mais aussi pour l'administration proprement dite de l'île.

Les produits ont atteint en moyenne, jusqu'à ce jour, 4 0/0 du capital engagé, ce qui n'est pas toujours obtenu sur ces sortes de lignes.

DEUXIÈME PARTIE

CHEMIN DE FER DE SUMATRA

I. — But de la ligne.

Le but du chemin de fer a été de relier le bassin houiller de l'Ombilin à l'Océan indien et de servir en même temps aux transports des marchandises, voyageurs, des troupes et des fonctionnaires.

Le réseau de Sumatra a été construit et est exploité par l'État néerlandais.

Le gouvernement des Indes néerlandaises a facilité la construction de la manière suivante :

1° En procédant par expropriation d'utilité publique pour l'acquisition de tous les terrains nécessaires à l'assiette de la ligne ;

2° En chargeant le département de la Justice de mettre à la disposition de l'Ingénieur en chef, 500 forçats, nourris et logés aux frais de ce département, contre une indemnité de 36 *c* par par homme et par jour ;

3° En autorisant l'émigration contractuelle dans la province, de coolies chinois ;

4° En décrétant que le chemin de fer de Sumatra serait de caractère industriel, c'est-à-dire établi avec la plus grande simplicité et que l'exploitation en serait régie par le réglement des chemins de fer secondaires aux Indes néerlandaises.

II. — Conditions générales. Avant-projets.

Le bassin houiller de l'Ombilin, situé à environ 60 *km* de la côte, est séparé de la mer par la chaîne de montagnes du Barisan et à la cote 260 *m*. Il a donc fallu, pour regagner l'Océan indien, monter de la mine jusqu'au col le plus propice de la chaîne en question, et redescendre de là vers le rivage.

Le premier projet, élaboré en 1876 par M. l'Ingénieur Duyseneer, était à adhérence simple, sans crémaillère, et devait aboutir

au col de Sanbang à l'altitude de 1 060 *m* au-dessus du niveau de la mer; un embranchement devait relier la ligne principale aux centres populeux de Fort-de-Kock et de Pacayambo et à la capitale Padang.

La ligne ainsi projetée était à voie de 1 *m*, avec déclivités maxima de 38 *mm* par mètre et courbes de 100 *m* de rayon minimum. Elle comportait 219 *km* avec 32 tunnels et revenait à 65 100 000 *f*, soit 297 260 par *km* !

L'application du système à crémaillère de Riggenbach, qui avait fait suffisamment ses preuves en Suisse, au Righi, depuis 1871, permit d'établir, en 1878, un nouveau projet, celui qui a été exécuté, sauf quelques légères améliorations, et n'a coûté que 44 100 000 *f*, permettant de réaliser ainsi une économie de 21 millions sur les premières études.

Le tracé, partant toujours du bassin houiller, passe par Solok, longe le lac de Singkarah, traverse le faîte du Barisan au col de Padang-Pandjang à la cote 780 *m*, et va par Padang, la capitale, jusqu'à Port-Emma sur la baie de la Reine.

Comme le projet devait en outre servir au transport des voyageurs et des autres marchandises de la région, on y a adjoint un embranchement Padang-Pandjang, Fort-de-Kock, Payacombo, et à Padang un petit raccordement reliant la gare au quai de la rivière. La longueur totale est à peu près la même que celle de l'ancien projet et se décompose comme suit :

Bassin de l'Ombilin, Padang-Pandjang, Port-Emma .	156 *km*
Padang-Padjang, Payacombo	62
TOTAL	218 *km*

La loi fut votée en 1887 par les chambres néerlandaises pour la partie principale, et en 1895 pour l'embranchement de Fort-de-Kock à Payacombo. Le projet définitif a différé assez peu de ce dernier avant-projet; la longueur totale du réseau est en effet de 210 *km*; la ligne principale qui relie les charbonnages à Port-Emma ayant 155 *km*. Tous les tronçons à crémaillère ont ensemble 36 *km*. D'un bout à l'autre la ligne est à voie unique, sauf les évitements et garages indispensables.

Toutes ces études ont été faites en évitant soigneusement de sacrifier les facilités et l'économie de l'exploitation à la rapidité et à l'économie de la construction. Le principe suivi d'une manière absolue a toujours été d'établir des lignes à frais de trans-

ports minimum, en tenant compte des dépenses d'exploitation et de l'intérêt des capitaux engagés. Cela a demandé parfois des études approfondies dans certains cas; ainsi, le terrain très accidenté entre le charbonnage de Lounto et Mouara-Kalaban, fut étudié de cinq manières différentes : par câble aérien, par crémaillère, par funiculaire avec frein à crémaillère, par chaine flottante et par adhérence ordinaire, ce qui exigeait un tunnel de 826 *m* de longueur. C'est cette dernière solution qui a été ici adoptée, malgré le prix sensiblement plus élevé de sa construction, à cause des économies qu'elle apportait dans l'exploitation et de la facilité qu'elle offrait dans l'avenir de faire face à à une notable augmentation du trafic.

III. — **Infrastructure**.

Situation générale. — La ligne prend son origine dans la baie de la Reine, en un lieu dit Port-Emma, où fut en effet construit un port spécial. On commença par y installer une estacade en bois, posée sur pieux à vis métalliques, destinée à recevoir le matériel venant d'Europe. On posa immédiatement la voie jusqu'à la première gare, située à 7 *km* plus loin, à Padang. Là furent installés les ateliers ayant servi dès l'origine à la construction et devant rester plus tard pour l'exploitation. A partir de ce point jusqu'à Soungei-Lossi, des routes bien entretenues existant dans l'île ont permis le transport de tous les matériaux à l'avancement. Au-delà de ce point, et jusqu'à Mouara-Kalaban, aucune route n'existait, et l'on n'avait plus à sa disposition qu'un simple sentier à chevaux, qui fut transformé en route provisoire convenable. Enfin, de Mouara-Kalaban jusqu'à l'entrée du tunnel, le sentier était trop escarpé pour permettre le transport des matériaux; on a alors construit de toutes pièces une route nouvelle, qui fut conservée plus tard comme plate-forme pour l'assise du chemin de fer lui même.

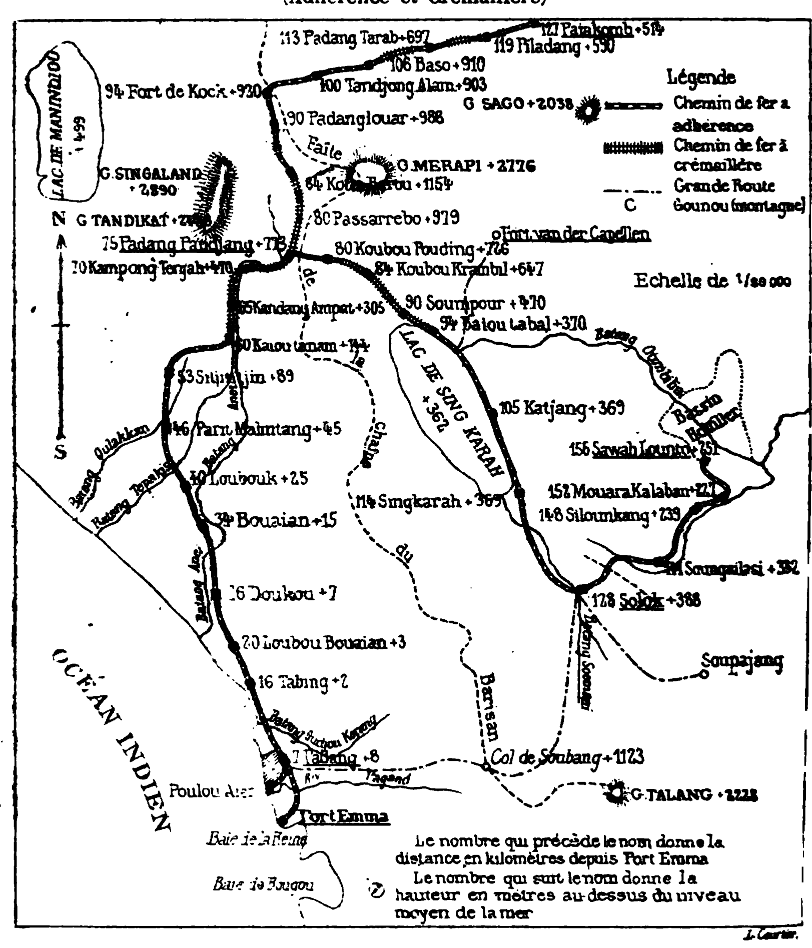
Terrassements. — Les terrassements ont été exécutés sans aucun engin mécanique par les coolies qui se servent d'un outil spécial appelé *gratjal*. Malgré la dépense assez forte entrainée de ce fait par l'expropriation, on a trouvé avantage à diminuer les transports et à établir les remblais au moyen d'emprunts latéraux. En divers points on a appliqué au transport des terres un procédé fort ingénieux, consistant à les entrainer par les eaux qui

les abandonnent en un point déterminé où la vitesse du courant vient à diminuer. Pour cela, on amena les eaux au point voulu, au moyen d'un petit canal de dérivation, et les terres une fois piochées, l'eau, grâce à de fortes déclivités, les entraine à de grandes distances. Au point où l'on désire arrêter les terres pour

CARTE DES CHEMINS DE FER

DE L'ÉTAT NÉERLANDAIS A SUMATRA — LONGUEUR 210km

(Adhérence et Crémaillère)



faire un remblai, on établit un barrage en bambous qui laisse passer l'eau et la vase et retient les terres solides, les sables et graviers. On monte ainsi par couches de 1 *m* à 1,60 *m* d'épaisseur, des remblais qui ont jusqu'à 18 *m* de hauteur et sont immédiatement assez solides pour permettre la circulation du cheval. Il y

a naturellement un certain déchet de terres, déchet qu'on peut évaluer de 25 à 30 0/0 du déblai, mais qui n'empêche pas le procédé d'être économique, à condition de l'employer dans des cas bien choisis, et de préférence avec des matériaux sablonneux.

Ouvrages d'art, main-d'œuvre, etc. — Tout ce que nous avons dit pour Java sur la construction des maçonneries, ponts, aqueducs, tabliers métalliques, etc., s'applique à Sumatra, qui se trouve dans les mêmes conditions, aussi bien locales, que d'éloignement de l'Europe. Quant à la main-d'œuvre, le malais de Sumatra est né commerçant et peu habitué aux travaux pénibles ; aussi on se vit obligé, au début des travaux de terrassements, d'engager des coolies javanais et chinois; peu à peu les malais vinrent également s'offrir et apprirent ce genre de travaux. Dans les maçonneries, et surtout pour les murs de soutènement et autres travaux en pierre dure, les coolies chinois ont montré beaucoup d'aptitude. Mais, en général il a fallu faire leur éducation complète.

Les ateliers étaient dirigés par des Européens et des Indo-Européens conduisant des ouvriers chinois.

Les mécaniciens et chauffeurs sont tous javanais. Les 500 forçats fournis par le Gouvernement étaient des soudanais, javanais et mandarins condamnés, au minimum, à deux années de travaux forcés. Ils ont travaillé aux terrassements et carrières, aux maçonneries; on en a fait des maçons, des plongeurs, des forgerons, des riveurs, des charpentiers et même des monteurs de ponts métalliques.

Les travaux ont été mis en adjudication par petites entreprises, ce qui a donné d'excellents résultats pour les terrassements et maçonneries.

La pose de la voie a été faite en régie avec primes à l'avancement.

La construction des ponts provisoires a été faite par les forçats.

La journée de travail effectif était de 10 heures.

Le logement et la nourriture ont été fournis dans les mêmes conditions que lors de la construction du chemin de fer de Java.

On a construit la ligne en sept ans et 5 mois, en deux périodes, à raison de 28 *km* par année.

Le tunnel de l'Ombilin a été creusé en vingt-neuf mois (826 *m*).

IV. — **Voie.**

L'écartement normal, mesuré entre les champignons des rails, est de 1,067 *mm* en alignement, comme à Java.

Le surécartement est de :

6 *mm*	pour les courbes de	1 000 à 600 *m*	de rayon.
12	—	500 à 400	—
18	—	350 à 250	—
24	—	200 à 150	—

Les rampes maxima en alignement sur les diverses sections, varient depuis 6 *mm* jusqu'à 80 *mm* par mètre, ce qui explique l'emploi de la crémaillère. Il y a douze sections où les locomotives sont à adhérence simple (rampes de 6 à 30 *mm*) et quatre sections où elles sont à adhérence et à crémaillère pour des rampes de 51 à 80 *mm* par mètre.

Les déclivités ont été réduites de :

6 *mm*	par mètre	dans les courbes	à rayon de	150 *m*.
5	—	—	—	200 *m*.
4	—	—	—	250 *m*.
3	—	—	—	300 *m*.
2	—	—	—	400 *m*.
1	—	—	—	500 *m*.
0	—	—	—	600 *m*. et plus.

Pour passer d'une déclivité à la suivante, on a adouci les angles au moyen de raccordements en arcs de cercle, de 1 000 *m* de rayon dans les parties à crémaillère, et de 5 000 et 2 500 *m* dans les parties à adhérence.

Les rayons minimum des courbes varient entre 200 et 150 *m*.

La longueur des rayons augmente de 50 *m* entre 150 et 200 *m*, et de 100 *m* au-dessus de 500 *m*.

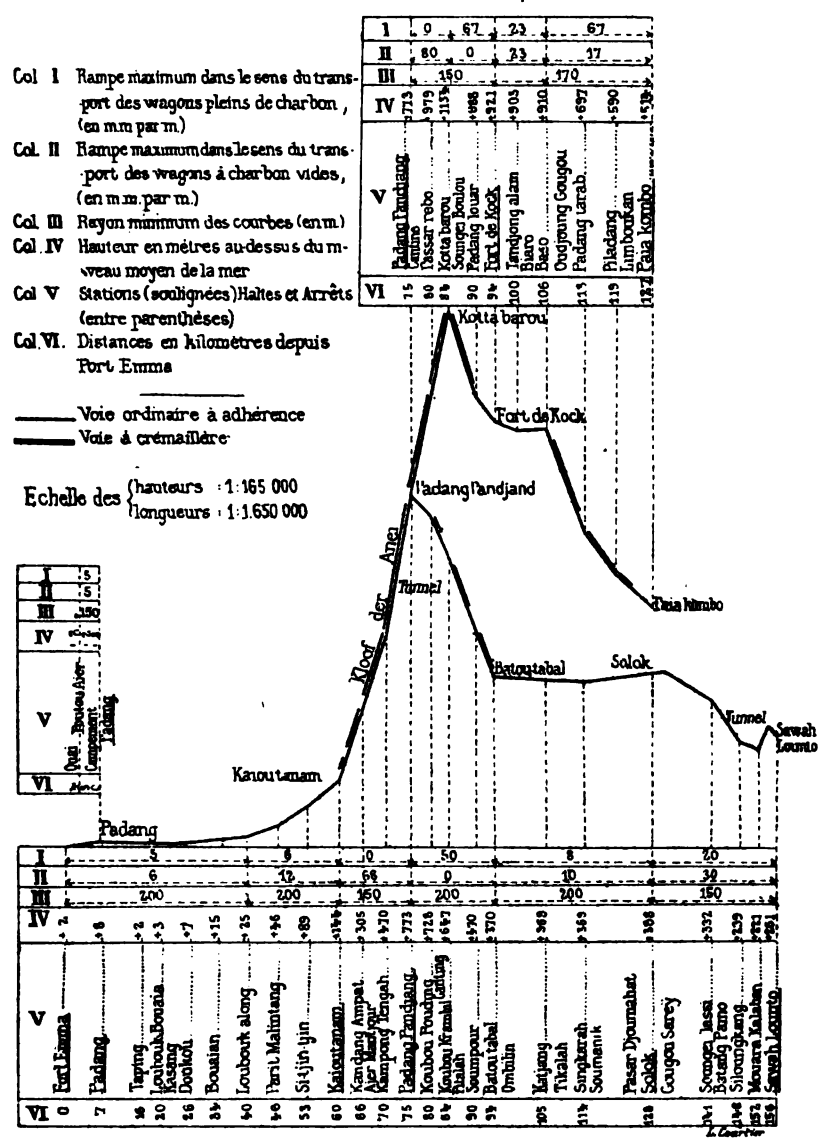
La longueur des courbes de raccordement est de :

10 *m*	pour les courbes	à rayon de	350 à 250 *m*.
15	—	—	200 *m*.
20	—	—	150 *m*.

L'alignement entre deux courbes de sens contraire est de 30 *m*.

Le rail est en acier à patin du poids de 25,7 *kg* par mètre cou-

PROFIL EN LONG DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT NÉERLANDAIS A SUMATRA — LONGUEUR 210km (Adhérence et Crémaillère)



rant; il est le même pour la voie à adhérence que pour celle à crémaillère.

La longueur normale des barres est de 7 *m* dans la partie à crémaillère; il y a six longueurs spéciales variant de 6,970 *m* à 7,022 *m* parce que, même dans les courbes, les barres de la crémaillère ont toutes la longueur normale de 3,5 *m*, de sorte que le rail extérieur doit être plus long de la quantité dont le rail intérieur est plus court.

Sur la ligne Manara à Lonuto il y a 2 1/2 *km* de voie en rails de 40 *kg* au mètre.

Cette longueur comprend une pente de 30 *mm* par mètre où les trains à charbon descendent à freins serrés et un tunnel de 826 *m*.

La crémaillère, du système Riggenbach, est en acier fondu; elle se compose, comme d'ordinaire, de deux poutrelles] reliées par des rivets de section trapézoïdale, sur lesquels la roue dentée spéciale de la locomotive vient engrener. La crémaillère pèse 57 *kg* par mètre courant et chaque barre a, comme nous l'avons dit plus haut, 3,50 *m* de longueur.

Au bout de la crémaillère, pour permettre de passer sans difficulté de l'adhérence ordinaire à l'adhérence forcée, on a placé une barre dentée montée sur ressorts en spirale, dont l'écartement des dents diminue de la pointe au talon, afin de permettre à une roue non engrenée de se rattraper avant d'arriver à la barre échelle; quelques modifications ont d'ailleurs dû être apportées à la barre dentée; le dernier type a des dents rondes qui peuvent tourner.

Les traverses de la voie ordinaire, et celles de la voie crémaillère, sont en acier fondu, à profils variables et du type Post, dont nous avons eu, à plusieurs reprises, l'occasion de parler ici.

Le laminage à profil variable répartit la matière de façon à renforcer la section qui nécessite une plus grande résistance; cela permet de réduire le poids de la traverse sans diminuer la résistance, ou bien d'augmenter cette résistance sans augmenter le poids.

Cette réduction de poids est ici de toute nécessité, car les traverses viennent d'Europe, et pourraient sans cela grever fortement les frais de transport.

Les traverses ordinaires pèsent 38 *kg* et comportent au centre un étranglement augmentant la rigidité.

La traverse de la voie à crémaillère pèse 39 *kg*; elle est droite

au lieu d'être étranglée en son centre : en ce point elle est au contraire, renforcée et percée de deux trous destinés à fixer le coussinet sur lequel est boulonnée la crémaillère.

Les traverses posées sur la section à rails de 40 *kg* sont un peu plus épaisses que les traverses de la voie ordinaire.

Les rails sont fixés sur les traverses au moyen de crapauds et de boulons à collets rectangulaires ; nous savons qu'on a modifié ce procédé en changeant les attaches de façon à avoir des trous ronds forés dans la traverse ; tandis que les trous rectangulaires devaient être poinçonnés.

La voie ordinaire pèse 105 *kg* par mètre courant et a coûté, déchargée à Port-Emma, 17,50 *f*, soit environ 13,50 *f* à l'usine en Europe.

La voie à crémaillère pèse 187 *kg* au mètre courant et a coûté à Port-Emma 51,20 *f*, soit environ 43 *f* à l'usine.

La pose a été faite par des équipes d'indigènes, et l'avancement a été par journée de 10 heures, de 1 000 à 1 500 *m* pour la voie ordinaire et de 300 à 400 *m* pour la voie à crémaillère.

Elle a été commencée en 1888 ; il y a donc 99 sections qui ont plus de 10 ans de service : la voie est excellente, d'entretien minime, de renouvellement nul, la durée des traverses Post peut être évaluée à plusieurs fois celle des traverses en bois djatti de Java, de 2*m* × 0,23 *m* × 0,12 *m* posées sur 26 *km* de voie ordinaire.

Les traverses aux changements de voie sont également en acier ; les cœurs de croisement sont en acier coulé au creuset et réversible.

Toutes les gares ont été disposées en palier de manière à éviter la complication des changements de voie à crémaillère ; la voie ordinaire comporte 8 traverses par 7 *m* de voie. La voie à crémaillère en comporte 9 pour la même longueur ; les joints de la crémaillère chevauchent avec ceux des rails, et les différentes traverses de celle-ci sont éclissées au moyen de fers plats.

V. — Installations spéciales à Port-Emma.

Le transbordement des marchandises à Port-Emma où sont installées des estacades pour les navires, s'opère comme ailleurs par coolies, grues, etc... ; l'outillage du port est fait surtout en vue de la manipulation du charbon. A Sonutaa, celui-ci arrive de la mare au criblage sur des wagonnets à chaîne flottante :

des culbuteurs vident les wagonnets sur des grilles qui les déversent dans des wagons à trucks d'une capacite de 20 *t* et de 10 *t*.

A Port-Emma, il existe un magasin à charbon de 5 500 *t* de capacité et de 172 *m* de longueur : un étage en maçonnerie supporte le plancher en forme de selle qui reçoit le combustible. Les trains chargés arrivent au grenier et on y décharge les wagons de 10 et 20 *t* en ouvant les bords latéraux; des trappes en forme de clapets munis de contrepoids, disposées tout le long des deux côtés du magasin, permettent de charger les wagonnets de 8 *t* munis eux-mêmes de planchers à clapets. Des locomotives légères poussent les trains de wagonnets ainsi chargés, vers un viaduc métallique à 5 travées de 22 *m* jusque sur un pont en porte-à-faux sur consoles, dont l'extrémité munie de rigoles se trouve à 14 *m* au-dessus du niveau de la mer : les wagonnets vides, en retournant, se croisent avec les wagonnets pleins qui arrivent en passant par une voie d'évitement disposée sur le pont en porte-à-faux. On peut ainsi charger en quelques heures des bateaux charbonniers de 2 000 *t* environ qui transportent et débitent le charbon de l'Ombilin dans tout l'archipel.

Les paquebots d'Europe qui font escale à Port-Emma, s'y approvisionnent généralement de charbon en accostant aux estacades et le chargement s'opère par les coolies.

VI. — **Frais de premier établissement.**

Le prix moyen de construction par kilomètre, y compris les travaux d'élargissement, ont été jusqu'au 1er janvier 1898 d'environs 200 000 *f*.

Les sommes consacrées à la construction du chemin de fer jusqu'au 1er janvier 1900 ont atteint 42 millions de francs, non compris la construction du port dit Port-Emma et son outillage d'embarquement, qui ont coûté à eux seuls 8 150 000 *f*.

Au 1er janvier 1901 cette somme montait à 42 500 000 *f*.

VII. — **Traction.**

La traction s'opère au moyen de locomotives à vapeur à adhérence simple, sur les lignes ordinaires, et du système mixte à adhérence et à roue dentée, sur les tronçons à crémaillère. Elles sont en outre de différents types savoir :

A. Locomotive-tender ordinaire à adhérence à 2 essieux couplés	poids total	à vide	15,270 *t*
		en charge	19,480 *t*
B. Locomotive-tender ordinaire à adhérence à 3 essieux couplés	poids total	à vide	27,650 *t*
		en charge	34,670 *t*
C. Locomotive-tender (mixte) à essieu de transmission	poids total	à vide	21,280 *t*
		en charge	26,250 *t*
D. Locomotive-tender (mixte),	poids total	à vide	17,520 *t*
		en charge	20,940 *t*
E. Locomotive-tender (mixte),	poids total	à vide	17,940 *t*
		en charge	21,610 *t*
F. Locomotive-tender (mixte),	poids total	à vide	24,630 *t*
		en charge	29,500 *t*

Les locomotives du type B remorquent des trains maxima de 250 *t* avec une vitesse moyenne de 25 *km* à l'heure sur les sections à déclivité maxima de 12^{mm} par mètre, et des trains de 60 *t* à 18 *km* à l'heure sur les sections à déclivité maxima de 30^{mm}.

Les locomotives du type C remorquent des trains maxima de 65 *t* à la montée, à 12 *km* à l'heure, sur une rampe de 70^{mm} par mètre, et 75 *t* à la descente à 15 *km* à l'heure, sur une pente également de 70^{mm} par mètre.

Les types E et F remorquent des trains maxima de 40 *t* à la montée à 15 *km* à l'heure, sur une rampe de 80^{mm} par mètre et 48 *t* à la descente à 18 *km* à l'heure sur une pente de 80^{mm} par mètre. Elles font 25 *km* sur la voie à adhérence simple.

Il y a 60 locomotives en service, savoir :

A. 8 locomotives-tender à adhérence type A à 2 essieux couplés et un essieu articulé ou Bissel à l'avant.

B. 22 locomotives-tender à adhérence type B à 3 essieux couplés et un Bissel à l'avant.

C. 21 locomotives-tender mixte type C à 2 essieux couplés, 1 essieu libre à l'arrière, 1 essieu intermédiaire à roue dentée et 1 essieu de transmission.

D. 1 locomotive-tender mixte type D à 2 essieux couplés et 1 essieu intermédiaire à roue dentée.

E. 5 locomotives-tender mixtes type E à 2 essieux couplés et 1 essieu intermédiaire à roue dentée.

F. 3 locomotives-tender mixtes type F à 2 essieux couplés, 1 essieu libre à l'avant et 1 essieu intermédiaire à roue dentée.

Les locomotives du type A ont servi à la construction du ré-

seau, elles font encore actuellement le service des manœuvres.

Les types B remorquent les trains de charbon et les trains mixtes sur les lignes à simple adhérence.

Les types C desservent presque exclusivement la ligne mixte (adhérence et crémaillère) à fortes dèclivités de Kaioutanam à Batontabal.

Les types D servent de réserve et pour les manœuvres en gare de Padary-Pandjang.

Les types E et F font exclusivement le service sur l'embranchement Padary-Payacombo où il n'y a pas de charbon à transporter.

Toutes ces locomotives sont munies d'un ou deux freins à main, d'un frein à vapeur et d'un frein à air.

Les vitesses maxima permises sont :

35 *km*	à l'heure	pour les	locomotives	types A et B.
15	—	—	—	type C.
25	—	—	—	types D, E et F.

Le combustible employé pour les locomotives comme pour les ateliers, provient des charbonnages de l'Ombilin à Lonuto, mines exploitées par l'État sous la direction de l'Ingénieur en chef du chemin de fer. Le charbon est livré à 10,50 *f* la tonne sur wagon en gare de Lonuto.

VIII. — **Matériel roulant.**

La charge utile des grands wagons à charbon est de 20 *t*; celle des petits est de 10 *t*; celle des autres wagons à marchandises de 8 *t*.

Les véhicules sont à 2 ou 4 essieux ; l'empattement rigide maximum des voitures et wagons à 2 essieux, est de 3 *m* sans aucune disposition spéciale pour le passage en courbe. Les véhicules à 4 essieux reposent sur 2 trucks à bogie de 1,60 *m* d'empattement sous les wagons et 2 *m* sous les voitures.

Il y a 65 voitures de sept types et 377 wagons de dix types différents.

L'attelage est à tampon et crochet central et automatique, avec double chaîne de sûreté; il sert à la traction, au choc et à la poussée, sur les rampes à crémaillère.

Le toit des voitures est à double paroi comme dans tous les climats tropicaux; il se compose d'un plafond en bois et d'une couverture surélevée en tôle ondulée galvanisée, permettant à

l'air de circuler librement entre eux et de combattre la chaleur du dehors. Les parois sont munies de jalousies au-dessus des fenêtres, de manière à assurer une certaine ventilation même lorsque les glaces sont fermées pour une raison quelconque.

Toutes les voitures sont à intercommunication.

Il n'y a que deux classes de voyageurs, la 2e étant réservée aux indigènes ; il y a en outre des compartiments spéciaux pour les femmes indigènes.

Les grands wagons à charbon sont entièrement métalliques : fer ou acier doux, avec fond en dos d'âne ou en forme de selle de cheval pour faciliter le déchargement par les côtés en soulevant simplement des trappes disposées à cet effet. Ils amènent le charbon de la mine à l'étage supérieur du dépôt de Port-Emma où ils sont vidés sur une aire en forme de toiture à double inclinaison comme leur propre fond; cette mesure a pour but de permettre l'écoulement facile du charbon dans des wagons plus petits de 8 *t* placés à l'étage inférieur et transportant leur chargement jusqu'au navire où iis se déchargent par le fond. *(topper bottom).*

Les parties métalliques des véhicules viennent d'Europe; le montage se fait dans les ateliers du chemin de fer ainsi que la menuiserie, la carrosserie, Tout le bois employé est du djatti provenant de l'île même.

IX. — **Exploitation.**

Généralités. — L'exploitation de la ligne a lieu sous le régime adopté par l'État néerlandais pour les chemins de fer secondaires ce qui réduit au minimum les dépenses de gardiennage, de clôture, etc. Le télégraphe est la base du mouvement des trains.

Sur les sections à adhérence ordinaire, il ne peut y avoir plus d'un train à la fois entre deux haltes ce qui simplifie notablement les choses. Sur les sections mixtes à adhérence et à crémaillère, la vitesse ne dépassant jamais 25 *km* à l'heure, on tolère plusieurs trains sur une même section sous la double condition d'intervalle de temps et de distance. Les trains ne peuvent en effet se suivre qu'à dix minutes d'intervalle, et à aucun prix, la distance entre deux trains consécutifs ne doit être inférieure à 500 *m*. Enfin le service de nuit est réduit au strict minimum, les trains ne circulant jamais avant 6 heures du matin ni après 6 heures du soir.

Sur les sections à fortes déclivités où la voie est mixte à crémaillère, la locomotive est toujours attelée au point bas : en montant elle pousse le train devant elle, en descendant elle sert au contraire à le retenir.

Les trois premières sections de chemins de fer ont été livrées à l'exploitation le 1er juillet 1891 et la dernière le 15 septembre 1896.

Le nombre de trains réglementaires par jour, dans les deux sens, varie de 6 à 16; il y a en outre des trains facultatifs.

L'horaire actuel correspond à un transport de 500 *t* de charbon par jour en plus des autres marchandises et des voyageurs.

On a établi primitivement un horaire pour 800 *t* de charbon par jour, correspondant à un transport de 250 000 *t* par an. L'élargissement de plusieurs gares en 1900 a augmenté la capacité de la ligne, de sorte qu'elle peut transporter aujourd'hui 360 000 *t* de charbon par an.

La ligne principale du charbonnage au port, comprend 14 horaires-graphiques différents, correspondant au variations du trafic. Les chiffres correspondant au tonnage réellement transporté sont actuellement les suivants :

En 1899.	1 800 000 *t*
En 1900.	1 960 000 *t*

Tarifs-Recettes. — Les charbons payent 0,04 *f* par tonne kilométrique; les autres marchandises sont taxées d'après différents tarifs, savoir : pour la petite vitesse, de 0,12 *f* à 0,29 *f* par tonne kilométrique ; pour la grande vitesse, majoration de 25 0/0.

Les voyageurs de 2e classe (indigènes) payent 0,04 *f* et 0,06 *f* par kilomètre suivant les lignes parcourues.

Les voyageurs de 1re classe paient 1 1/2 fois le tarif de 2e classe, avec tarif spécial entre Padary, la capitale, et Port-Emma, tarif qui est en 1re classe de 0,53 *f* et en 2e classe de 0,21 *f*.

Les recettes brutes moyennes par kilomètre étaient en 1898 :

Par voyageur de 1re classe.	0,067 *f*
— 2e —	0,038 *f*
Par tonne de marchandises (charbon compris).	0,063 *f*

La distance moyenne parcourue la même année était :

Par voyageur de 1re classe	21 *km*
— 2e —	19 *km*
Par tonne de marchandises (charbon compris).	105 *km*

Sur 100 voyageurs il y en avait 4,4 de 1re classe et 95,6 de 2e classe.

La progression dans les chiffres des transports peut être indiquée par le tableau suivant :

ANNÉES	1896	1897	1898
Voyageurs	790.886	925.157	867 473
Charbon . . . . Tonnes.	126.281	142.850	127.385
Marchandises diverses. —	63.736	64.175	83 948

Voici, en outre, la dépense kilométrique moyenne et annuelle de l'exploitation de 1894 à 1900 :

a) Frais généraux et de direction;
b) Entretien et réfection de la ligne et des immeubles;
c) Traction, ateliers et dépôts;
d) Exploitation;
e) Renouvellement.

ANNÉES	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	TOTAUX
1894. . . .	746	716	3.098	909	»	5.468
1895. . . .	874	874	3.568	947	»	6.321
1896. . . .	1.067	819	3.681	901	»	6.468
1897. . . .	941	813	4.076	748	»	6.577
1898. . . .	1.033	1.047	3.753	728	»	6.561
1899. . . .	1.117	983	3.844	791	»	6.732
1900. . . .	1.115	993	4.087	916	3	7.114

La recette brute kilométrique moyenne et annuelle pendant la même période a été de :

ANNÉES	FRANCS	ANNÉES	FRANCS
1894.	8.971	1898.	11.544
1895.	10.548	1899.	12 696
1896.	12.058	1900.	13.503
1897.	11.355		

TABLEAU RÉSUMÉ

concernant la construction et l'exploitatation des chemins de fer aux Indes Néerlandaises (Java, Madoura et Sumatra) en 1899 *(Congrès des Chemins de fer*, avril 1901).

NUMÉROS	OBJET	UNITÉS	CHEMINS DE FER
1	Compagnies au 1er janvier 1900	Nombre.	2 (et l'État)
2	Longueur	Kilomètres.	2 151,5
	dont, à double voie	—	26,5
	et, en outre, à triple voie	—	2,5
3	Longueur moyenne exploitée	—	2 094,5 (A)
4	Longueur des lignes à écartement de 1,067 *m* au 1er janvier 1900	—	1 946,5
5	Locomotives au 1er janvier 1900 par 10 *km* exploités	Pièce.	1,8
6	Voitures — —	—	3,5
7	Wagons divers — —	—	24,4 (B)
8	Capital de construction au 1er janvier 1900, total	Millions de francs.	353
	— — par kilomètre	Milliers de francs.	172
9	Recette brute kilométrique :		
	Voyageurs	Francs.	5 401
	Marchandises, bagages et divers	—	11 922
10	Recette brute kilométrique annuelle	—	17 323
11	par jour		47,48
12	par train		[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

14	Dépense kilométrique :		
	A. — Frais généraux, etc.	Francs.	1 272
	B. — Voies et travaux.	—	1 489
	C. — Traction et ateliers	—	3 564
	D. — Exploitation proprement dite	—	2 029
	E. — Renouvellements	—	414
	Dépense kilométrique annuelle	—	8 768
15	— par jour.	—	24,02
16	— par train	—	2,04
17	Combustible consommé en 1899 par train-kilomètre.	Centimes.	23,73
	— —	Kilogrammes.	8,7 (C)
18	Trains-kilomètres	Millions.	9
19	Voyageurs transportés	—	13
20	Distance moyenne de transport des voyageurs.	Kilomètres.	26,9
21	Marchandises payantes transportées	Millions de tonnes.	2,3
22	Distance moyenne de transport des marchandises	Kilomètres.	99
23	Densité du trafic des voyageurs.	(D)	45,9
24	— marchandises	(E)	301
25	— essieux	(F)	262
26	Rapport entre le bénéfice net d'exploitation et la recette brute	0/0	49
27	— — et le capital de construction	0/0	5

Dans les dépenses minima de 993 *f* par kilomètre et par an pour l'entretien de la voie et des travaux, il n'y a que 168 *f* pour entretien et réfection de la voie proprement dite.

Les frais annuels de renouvellement du matériel et de la voie, environ dix ans après la pose, ne se sont élevés qu'à 1,11 *f* par kilomètre, ce qui s'explique par suite de l'emploi des traverses métalliques. (Voir Rapport Lintkout. *Congrès des Chemins de fer*, 1899).

X. — Rendement.

Le rendement du capital de construction de la ligne a été pour l'année 1899 d'environ 3 0/0.

La comptabilité des charbonnages est séparée de celle du chemin de fer, et en 1899, le rendement du capital de ces derniers seuls, a été de 45 0/0.

Le rendement de l'ensemble (chemin de fer, charbonnages et port d'embarquement) a été de 3,53 0/0 pour 1899. Il augmentera certainement avec le développement de l'extraction du charbon, comme le prouvent déjà les chiffres de 1900. Le rendement des capitaux engagés pour cette année a été de 3,2 0/0, celui des charbonnages 52 0/0; enfin pour l'ensemble 6,2 0/0.

XI. — Conclusions.

Les résultats obtenus sont donc très satisfaisants.

En outre, les conséquences indirectes de la construction du chemin de fer ont été les suivantes:

La civilisation des contrées appelées à en ressentir les effets.

Le développement de l'industrie et du commerce dans les importations et exportations du pays.

L'extension des territoires exploités et soumis définitivement au régime de la colonie.

La création de nouvelles cultures et de nouvelles industries.

Le grand essor pris par l'industrie charbonnière et l'augmentation des relations commerciales entre le plateau et la côte, entre Sumatra et tout l'archipel.

Le chemin de fer de Sumatra est la première application à grande échelle du système à crémaillère pour les transports à bon marché.

Observations.

A. — 1 788 *km* appartiennent à l'État et sont exploités par (Java : 1 578 *km* et Sumatra 210 *km*).

B. — La capacité varie de 8 à 20 *t*.

C. — Total 78 794 *t*; dont 53 596 *t* de charbon des Indes néerlandaises et 9 265 *t* de bois.

D. — La « densité-voyageurs » s'obtient en divisant le nombre de voyageurs-kilomètres par le nombre de jours-kilomètres ; elle représente donc le nombre de voyageurs qui, en moyenne, passent chaque jour sur chaque kilomètre.

E. — La « densité-marchandises » s'obtient en divisant le nombre de kilomètres par le nombre de jours-kilomètres; elle représente par suite le nombre de tonnes de marchandises diverses qui, en moyenne, passent chaque jour sur chaque kilomètre.

F. — La « densité-essieux » s'obtient en divisant le nombre d'essieux-kilomètres par le nombre de jours-kilomètres et représente donc le nombre d'essieux qui, en moyenne, passent chaque jour sur chaque kilomètre.

CONCOURS GÉNÉRAL

DES

MOTEURS ET AUTOMOBILES

A ALCOOL

PAR

M. RINGELMANN

L'arrêté ministériel divisait en deux groupes les appareils utilisant l'alcool :

1° Les moteurs et les automobiles;

2° Les appareils d'éclairage et de chauffage.

Pour ce qui concerne le premier groupe, les membres du Jury se sont répartis en deux sections, auxquelles on a adjoint une Commission de chimie, chargée des analyses, et dont les membres ont été pris dans les deux groupes du Jury :

1re DIVISION : **Appareils moteurs.**

Président : M. Michel LÉVY, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines.

Secrétaire : M. RINGELMANN, Professeur à l'Institut national Agronomique, Directeur de la Station d'essais de machines.

1re SECTION : **Moteurs fixes, locomobiles et carburateurs.**

Président : M. BAUDRY, Ingénieur en chef à la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, Président de la Société des Ingénieurs Civils de France.

Secrétaire : M. SAUVAGE, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École nationale des Mines.

Membres : M. BOURDON, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures; — GALLOIS, Ingénieur des Arts et Manufactures,

Président honoraire de l'Association des Chimistes de sucrerie et de distillerie; — Guyot-Sionnest, Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien juge au Tribunal de commerce; — Hospitalier, Professeur à l'École de physique et de chimie de la Ville de Paris; — Liébaut, Ingénieur des Arts et Manufactures, Trésorier perpétuel de la Société nationale d'Agriculture; — Maguin, Constructeur de machines à Charmes; — Petit, Vice-président du Syndicat de la Distillerie agricole; Sorel, Ingénieur-Chimiste.

2e Section : **Automobiles et moteurs pour la navigation.**

Président : M. du Bousquet, Ingénieur en chef du Service du matériel et de la traction à la Compagnie des Chemins de fer du Nord, ancien Président de la Société des Ingénieurs Civils de France.

Vice-président : M. Rives, Membre du Conseil d'administration de l'Automobile-Club de France.

Secrétaires : MM. Amiot, Ingénieur civil; — de la Valette, Ingénieur des Mines, Secrétaire technique du Conseil d'administration de l'Automobile-Club de France.

Membres : MM. de Chasseloup-Laubat, Président de la Commission de l'alcool de l'Automobile-Club de France; — Giffard (Pierre), Directeur du journal « Le Vélo »; — Hérisson, Professeur à l'Institut national Agronomique : — Loreau, régent de la Banque de France, ancien Président de la Société des Ingénieurs Civils de France.

COMMISSION MIXTE : **Analyse des liquides et des gaz.**

Président : M. Sorel, Ingénieur-chimiste.

Secrétaire : M. Trillat, Directeur du laboratoire de chimie à l'Institut Pasteur.

Membres : MM. Arachequesne, Ingénieur des Arts et Manufactures; — Durin, Président honoraire de l'Association des Chimistes de sucrerie; — Gallois, Ingénieur des Arts et Manufactures, Président honoraire de l'Association des Chimistes de sucrerie et de distillerie; — Sidersky, Ingénieur-chimiste.

Parmi les 45 exposants qui présentent au Grand Palais des Champs-Élysées de nombreux moteurs de différents systèmes, 24 constructeurs ont soumis 31 moteurs aux expériences; ces dernières ont été effectuées à la Station d'essais de machines.

Le jury, s'étant trouvé en présence d'un trop grand nombre de demandes d'essais pour le peu de temps dont il pouvait disposer, s'est vu dans l'obligation de n'expérimenter qu'une seule machine par concurrent; il admettait 2 ou au plus 3 moteurs (quand cela était possible), lorsqu'il était démontré qu'il s'agissait de machines différentes comme principe (distribution, régulation, mode d'allumage, etc.). Le jury n'admettait à concourir pour les récompenses que des machines de construction française ou celles qui, fabriquées à l'étranger, avaient reçu en France des modifications reconnues suffisantes. Enfin, on fut obligé de procéder aux essais suivant un ordre prévu d'avance ; c'est pour ce motif que les moteurs arrivés en retard à notre laboratoire ont trouvé la place occupée par ceux de la série suivante et leurs essais ont été remis, quand cela a été possible, pour les dernières journées du concours. (Il y a eu des expériences tous les jours du 14 octobre au 9 novembre.)

Le classement des moteurs et des automobiles a été surtout basé sur la bonne utilisation de l'alcool, ainsi que sur le bon fonctionnement des machines.

Suivant le règlement, les concurrents étaient libres d'employer l'alcool dénaturé pur ou des mélanges divers, en vue desquels leur moteur pouvait avoir été spécialement étudié. Cette latitude, donnée avec juste raison, semblait devoir compliquer le travail de classement, et il nous a fallu chercher le moyen de ramener toutes les dépenses de combustibles à une commune mesure afin de rendre les résultats comparables.

Les moteurs soumis à l'examen du jury n'ont en réalité fonctionné qu'avec deux sortes de combustibles *l'alcool dénaturé pur*, de la régie, et l'*alcool carburé dit à 50 0/0*; ces deux liquides avaient la même provenance; des échantillons prélevés aux essais de chaque machine et analysés par la Commission de chimie donnent une garantie de l'uniformité de composition des alcools employés.

L'alcool dénaturé pur, de la régie, a une densité de 832 à 833 et émet peu de vapeurs à la température ordinaire; au contraire. l'alcool carburé à 50 0/0, dont la densité oscille de 839 à 840, se vaporise aussi facilement que l'essence minérale; nous verrons

tout à l'heure l'influence de ces deux conditions sur la mise en route des moteurs à alcool.

La comparaison des dépenses de combustibles s'est faite expérimentalement, puis elle fut contrôlée par le calcul et enfin par la calorimétrie. 11 moteurs de différents constructeurs ont successivement fonctionné avec de l'alcool carburé à 50 0/0 et de l'alcool dénaturé pur ; dans les mêmes conditions de travail, on constate que le rapport moyen de la dépense de combustible est de 7 d'alcool carburé à 50 0/0 contre 10 d'alcool dénaturé pur. A la fin des expériences, ce rapport a été vérifié par le calcul, d'après la composition chimique des liquides (en carbone, en hydrogène, en oxygène et en eau), et par des essais à la bombe calorimétrique. A l'aide de ces documents, le jury a pu rendre tous les résultats comparables, en multipliant par 0,7 les consommations constatées en alcool dénaturé pur, aussi bien pour les moteurs que pour les automobiles, et de cette façon, toutes les dépenses ont pu être ramenées en alcool carburé à 50 0/0. Si on n'avait pas employé ce procédé, les moteurs n'utilisant que l'alcool dénaturé pur auraient été mis en infériorité, car, obligatoirement, leur consommation spécifique est plus élevée que pour les moteurs qui utilisent l'alcool carburé à 50 0/0, dont le pouvoir calorifique est plus grand.

En général, les moteurs concurrents ont très bien fonctionné, sauf pour quelques exceptions au sujet desquelles la nature du combustible ne peut pas être mise en cause; il faut en chercher les motifs dans le mécanisme, le carburateur on enfin dans le réglage.

Les essais ont surtout porté sur des moteurs à essence minérale auxquels on avait ajouté des carburateurs spéciaux. La mise en route des moteurs employant l'alcool carburé à 50 0/0 se fait sans aucune difficulté; il n'en est pas de même avec l'alcool dénaturé pur qui émet peu de vapeurs à la température ambiante : au départ, il faut chauffer préalablement le carburateur; puis, en cours de route, on combat l'abaissement de température dû à l'évaporation de l'alcool et on réchauffe le carburateur par une dérivation prise sur les gaz de la décharge.

Qu'on emploie de l'alcool carburé à 50 0/0 ou de l'alcool dénaturé pur, les gaz de l'échappement n'ont pas l'odeur désagréable signalée pour beaucoup de moteurs qui utilisent l'essence minérale. Il y a eu des journées où 6 moteurs fonctionnaient à la fois dans le hall de la Station d'essais de machines,

sans cependant incommoder le jury et les opérateurs. (Bien entendu, il faut faire exception pour quelques machines défectueuses dont les combustions incomplètes ont transformé l'alcool en produits oxygénés et notamment en aldéhyde et en acide acétique.) Cela s'est aussi vérifié aux postes de contrôle des essais d'automobiles où beaucoup de personnes ont constaté que l'odeur légèrement vineuse qui régnait était plutôt agréable, alors qu'il aurait été loin d'en être ainsi avec les voitures à essence minérale dont la combustion est fréquemment imparfaite. D'ailleurs les membres de la Société des Ingénieurs Civils ont pu faire eux-mêmes cette vérification à l'Exposition où les moteurs fonctionnaient à échappement libre dans le Grand Palais.

J'ai résumé les résultats principaux des essais dans des graphiques qui ont figuré à l'Exposition et au sujet desquels j'ai donné sur place quelques indications; en laissant de côté certains tracés, dont l'anomalie serait trop longue à détailler, on voit que le travail de l'alcool carburé à 50 0/0 présente une allure différente de celui fourni par l'alcool dénaturé pur.

Si l'on cherche la consommation Y d'un moteur bien réglé et bien régulier, produisant un travail utilisable x, connaissant sa dépense a à vide, pour la même vitesse, on a la relation simple :

$$Y = a + b x$$

dans laquelle a est influencé surtout par l'ajustage du moteur, le mode de régulation, le système d'allumage et les pertes de chaleur; le terme b, qui est indépendant de la machine, (en supposant une carburation parfaite et une bonne utilisation du mélange), est plus grand avec l'alcool dénaturé pur qu'avec l'alcool carburé à 50 0/0, et cela dans le rapport de 10 à 7, c'est-à-dire des pouvoirs calorifiques des deux combustibles.

La consommation à vide a croît avec les dimensions et par suite avec la puissance du moteur; parmi les meilleures machines soumises aux expériences, nous avons les consommations suivantes, en kilogrammes, d'alcool carburé à 50 0/0 :

Puissance du moteur.	Dépense à vide.	Puissance du moteur.	Dépense à vide.
1,27 *ch*	0,400 *kg*	9,58 *ch*	0,940 *kg*
3,75	0,300	16,11	3,328
4,00	0,486	23,80	3,202
6,04	0,575	27,89	4,648

Les consommations totales Y par heure, et celles correspondantes par cheval-heure $\left(\frac{Y}{x}\right)$, en alcool carburé à 50 0/0, sont indiquées dans le tableau ci-dessous relatif aux meilleures machines soumises aux essais :

Puissance du moteur.	Consommations horaires totales.	Consommations horaires par cheval.
—	—	—
1,27 *ch*	0,831 *kg*	0,645 *kg*
3,75	1,536	0,409
4,72	2,290	0,484
6,05	2,636	0,435
9,58	3,638	0,379
16,11	6,162	0,382
23,80	8,459	0,355
27,89	9,622	0,345

Les essais ont montré que si l'on veut faire d'excellents moteurs à alcool, il convient de procéder au préalable à des recherches propres à éclaircir certains points; c'est d'ailleurs le vœu qui a été émis par le jury.

Voici enfin la liste des récompenses parues dans le catalogue officiel de l'Exposition :

1re Catégorie. — MOTEURS FIXES

NOMS DES CONSTRUCTEURS	PUISSANCE en CHEVAUX	POIDS APPROXIMATIF	PISTON		VITESSE — NOMBRE DE TOURS moyen par minute	NATURE de L'ALCOOL employé	CONSOMMATION PAR HEURE		
			DIAMÈTRE	COURSE			A VIDE	PAR CHEVAL à demi-charge	PAR CHEVAL à pleine charge
		kg	mm	mm			g	g	g
1re Section : Moteurs de 2 chevaux et au-dessous.									
Médaille d'or.									
MM. Fritscher et Houdry (1 cylindre). . . .	1,27	250	85	160	422 à 445	50 0/0	400	750	645
Médaille d'argent.									
Société anonyme « l'Aster » (1 cylindre) . .	2,27	60	80	90	1 564 à 1 626	50 0/0	817	1 042	626
2e Section : Moteurs de 2 à 10 chevaux.									
Médaille d'or.									
MM. Japy frères et Cie (1 cylindre)	3,75	450	145	160	307 à 328	50 0/0	300	433	409
Médailles d'argent grand module.									
MM. Merlin et Cie (1 cylindre)	2,91	1 000	135	240	278 à 281	50 0/0	570	741	529
Compagnie française des moteurs à gaz Otto et des constructions mécaniques ([illegible] cylindres)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	575	510	[illegible]

Médailles d'argent grand module.

Société anonyme des anciens établissements « Panhard et Levassor » (1 cylindre) . . .	6,22	120	130	180	487 à 498	Pur	708	576	468
Société anonyme des anciens établissements « Panhard et Levassor » (2 cylindres). . .	4,72	98	80	120	769 à 865	50 0/0	642	626	484

Médailles d'argent.

Société des automobiles « Delahaye » (2 cyl.).	11,18	265	110	160	942 à 968	50 0/0	2 486	461	493
M. Bardon (1 cylindre)	2,56	240	100	120	757 à 815	Pur	1 200	797	604
M. Barbier (Paul) (1 cylindre)	3,05	450	140	240	242 à 269	50 0/0	656	714	600
Compagnie « Duplex » (1 cylindre)	8,18	1 880	200	300	219 a 240	Pur	1 442	529	497
Société des fonderies de cuivre de Lyon, Mâcon et Paris, moteur « Le Gnome » (1 cylindre)	4,00	700	140	140	365 à 386	50 0/0	486	930	577
M. Petit (Charles) (1 cylindre).	3,53	700	140	210	265 à 275	50 0/0	1 220	824	637

3e Section : **Moteurs de 10 chevaux et au-dessus.**

Médaille d'or.

MM. Brouhot et Cie (1 cylindre)	16,11	3 000	240	400	174 à 180	50 0/0	3 328	578	382

3e CATÉGORIE. — LOCOMOBILES. — MOTEURS SUR CHASSIS POUR ACCOUPLER AVEC POMPES

NOMS DES CONSTRUCTEURS	PUISSANCE en CHEVAUX	POIDS APPROXIMATIF	PISTON		VITESSE — NOMBRE DE TOURS moyen par minute	NATURE de L'ALCOOL employé	CONSOMMATION PAR HEURE		
			DIAMÈTRE	COURSE			A VIDE	PAR CHEVAL à demi-charge	PAR CHEVAL à pleine charge
		kg	mm	mm			g	g	g
Médaille d'or.								Par cheval en eau montée.	
MM. JAPY FRÈRES (loco-pompe) (1 cylindre). .	1,41 (En eau montée.)	550	120	130	340 à 349	50 0/0	381	1 096	744
Médailles d'argent grand module.								Par cheval au frein.	
Compagnie « DUPLEX » (locomobile) (1 cyl.). .	4,95	1 800	150	200	328 à 358	Pur	800	629	550
SOCIÉTÉ DES FONDERIES DE CUIVRE de Lyon, Mâcon et Paris (locomobile « Gnome ») (1 cylindre)	9,67	2 200	215	210	291 à 303	50 0/0	2 190	707	500

PROGRÈS RÉALISÉS

DANS LES

APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ALCOOL

ÉCLAIRAGE

PAR

M. Louis DENAYROUZE

Au mois de juin 1899, un an juste avant l'ouverture de l'Exposition, une communication faite à notre Société au sujet de l'éclairage par l'alcool, se terminait par ces mots : « Le temps » montrera si, dans cette direction des recherches contemporaines, la conquête de la lumière, les Ingénieurs français » n'ont pas, une fois de plus, marché en avant-garde ».

La preuve a été faite assez promptement. Le Concours et l'Exposition organisés à Paris par M. le Ministre de l'Agriculture ont vivement ému l'opinion. Le public s'est trouvé avec une véritable surprise en face d'une industrie viable. Les discussions à son sujet ne portaient plus que sur l'ampleur possible de son développement.

Les membres de notre Société, dans la visite qu'ils ont faite au Grand Palais des Champs-Élysées, ont été guidés par des collègues si compétents, qu'il serait difficile et oiseux de reprendre les excellentes leçons de choses qu'ils ont tirées sur place de l'examen détaillé des appareils exposés. Aussi vais-je me borner à condenser dans une expression numérique très simple et compréhensible pour tous, un résumé des progrès pratiques accomplis dans ces dernières années par l'industrie nouvelle, et encore me renfermerai-je dans la spécialité de l'*Éclairage*.

Pour mesurer le chemin accompli, il faut bien remonter à un point de départ. Les premiers efforts notables tentés en France pour faire de l'éclairage par l'alcool l'objet des préoccupations populaires, remontent à près de quatre ans. Certes, le succès de l'Exposition fait grand honneur à M. le Ministre de l'Agricul-

ture, mais on ne saurait oublier que dès 1893, dans une séance du Conseil de la Société nationale d'Encouragement à l'Agriculture, tenue le 27 octobre, M. Loubet, alors Président du Sénat, fut le premier homme d'État qui ne craignit pas d'encourager publiquement les études entreprises en France pour appliquer l'alcool à l'éclairage.

Les chiffres donnés alors, je les ai sous les yeux : on avançait dès ce moment que la dépense d'alcool par bougie produite et par heure ne doit pas, quand on manie l'alcool comme il convient, dépasser *un cm*^{3} d'alcool par bougie et par heure.

Or c'est là, exactement, le chiffre auquel on est parvenu dans les essais minutieux exécutés ces jours derniers au Laboratoire municipal, dans le match de la dernière heure entre les concurrents les plus ardents.

Est-ce possible? s'écriera-t-on. Comment! on n'aurait rien gagné sur la consommation en poids indiquée il y a trois ans comme nécessaire à la production de l'unité de lumière au moyen de l'alcool! Qu'est-ce à dire? Et cependant les progrès sont immenses, de l'avis universel. Toutes les Associations agricoles, peu confiantes jusqu'ici se déclarent convaincues. D'où vient ce changement? Et quelles en sont les raisons?

Rien de plus facile à expliquer.

Pour arriver à cette limite de *un cm*^{3} d'alcool par bougie-heure, il fallait, il y a trois ans, employer des appareils à pression artificielle qui ont présenté à la pratique des difficultés de maniement les rendant peu propres aux usages domestiques.

On a tourné la difficulté par deux moyens :

1° Tout en supprimant la pression ou en la rendant aussi maniable que possible, on a réussi à donner à la vapeur d'alcool une tension suffisante. Alors la consommation horaire, sans descendre jusqu'à *un* centimètre cube par bougie, a pu osciller autour de *deux*.

2° En mélangeant l'alcool à des carbures plus riches, on a pu faire la conquête effective de cette consommation si faible de *un centimètre cube de liquide éclairant* par bougie-heure, et cela sans pression aucune.

Je ne crois être contredit par personne, si j'avance que l'Exposition a montré que tels sont là industriellement, pratiquement, les niveaux actuels de l'étiage auquel se maintiennent, en tant que consommation, les meilleures des lampes françaises

sans pression, lampes qui appartiennent à deux types généraux (mèche et veilleuse et mèche et conductibilité).

Ajoutons bien vite qu'avec les *lampes à pression*, ces moyennes de consommation se réduisent de moitié. On arrive en tout cas aisément à donner la bougie-heure, soit avec *un gramme d'alcool dénaturé*, soit avec *un demi-gramme d'alcool carburé*.

En résumé, pendant ces trois années :

D'une part, on a fait une réalité pratique de ce qui n'était qu'une espérance pour l'alcool dénaturé.

D'autre part, avec l'alcool carburé, on a gagné 50 0/0 sur la consommation en poids.

*
* *

Simultanément, de sérieux progrès pratiques ont été réalisés soit pour réduire la durée de l'allumage, soit pour diminuer l'insécurité de maniement de liquides inflammables ou explosibles. Ainsi, plusieurs lampes sont conçues de manière qu'on puisse les renverser sans aucun danger. Certaines ont même des réservoirs interchangeables absolument étanches, et dans ces conditions on peut dire, sans aucun paradoxe, qu'un éclairage par l'alcool dont le service serait fait avec ces appareils de sûreté, serait moins dangereux que n'importe quel autre système.

*
* *

D'ailleurs, les progrès techniques ont été accompagnés d'améliorations considérables d'ordre économique, dues, les unes à des mesures législatives favorables, les autres aux efforts privés des fabricants d'alcool. Tandis que le prix du pétrole restait stationnaire avec tendance à l'augmentation, le coût de l'alcool s'abaissait considérablement. De grandes distilleries annoncent qu'au 1er janvier prochain on trouvera leur produit distribué dans toute la France à un prix qui atteindra à peine la moitié de ce qu'on payait en 1898.

Ainsi, diminutions considérables dans la consommation en poids, abaissement rapide des prix, voici l'œuvre des dernières années. Tandis que ses rivales ont conservé leur cherté relative, la nouvelle lumière a réduit son coût de MOITIÉ quand on emploie l'alcool dénaturé, des TROIS QUARTS quand on a recours à l'alcool carburé.

Ces chiffres qui concernent les dépenses d'entretien sont par eux seuls assez frappants. Mais si l'on passe à l'examen des frais de premier établissement du nouvel éclairage, votre attention s'éveillera encore plus vivement. En effet, des conséquences extrêmement importantes peuvent résulter de l'application, sur une large échelle, des méthodes de décentralisation à outrance, qui, ayant commencé par donner naissance à l'industrie de l'acétylène, s'affirment comme plus radicales encore avec l'alcool.

Vous savez déjà qu'en ajoutant, sur un récipient de lampe ordinaire, un bec qui, somme toute, n'est qu'un morceau de cuivre travaillé pesant quelques centaines de grammes, on peut obtenir, non pas les petites clartés que donnent les lampes à pétrole ordinaires, mais des foyers de toutes grandeurs, allant jusqu'à l'éclat d'un foyer électrique à arc.

Il est donc à peu près certain qu'au lieu de s'imposer à l'avenir la dépense de premier établissement d'usines et canalisations pour l'éclairage public, beaucoup de petites villes en Europe, et certaines grandes villes dans les pays neufs, préféreront improviser leur éclairage avec des appareils peu coûteux.

Dans les grandes cités actuellement éclairées par le gaz ou par l'électricité, les détenteurs de contrats à long terme d'éclairage étaient non seulement les possesseurs légitimes d'un monopole du droit, ils en possédaient en fait un second, en ce sens que le pouvoir exclusif de canaliser les voies publiques les mettait à l'abri de toute concurrence sérieuse.

Il est probable que, désormais, les municipalités et les consommateurs importants de lumière se trouveront plus à l'aise pour discuter le prix de leur éclairage : en effet, si les Compagnies s'avisent de fermer leurs compteurs, il suffit maintenant d'une heure pour disposer d'un éclairage nouveau au moins équivalent, dans un local quelconque, et de quelques jours seulement, pour satisfaire aux besoins de tout un quartier privé de clarté.

Certains Ingénieurs un peu trop obstinément attachés aux vieilles méthodes, soutiennent volontiers que tant que l'élément producteur de lumière ne pourra être aisément distribué par une station centrale, il n'y a rien à craindre de la concurrence de l'alcool : là où il existe déjà de ces distributions peut-être s'apercevront-ils un jour qu'ils se sont cruellement trompés.

Il devient, en effet, relativement facile de relier par un réseau de conduites légères les diverses lampes fixes d'une maison, de

manière qu'elles s'alimentent toutes dans un réservoir unique. On pourra donc déjà concevoir un service public desservant avec facilité les immeubles d'une même rue, et il est à croire que pour étendre ce système à une ville entière, on aurait à immobiliser des capitaux beaucoup moindres que ceux qui servent actuelle- à cet effet. Aussi je crois de mon devoir d'appeler sur ce point la réflexion de tous ceux de mes collègues qui sont au service des Administrations publiques et privées. Il y a, dans cette voie, à réaliser des économies qui, déjà, méritent tout au moins les honneurs d'un calcul et les dépenses d'un essai.

Jusqu'ici, toute la campagne de l'éclairage par l'alcool s'est faite sur cette idée qu'il y a surtout à conquérir pour le produit national les débouchés de pétrole étranger. Je n'ai jamais été de ceux qui croient qu'un système nouveau de lumière détrône rapidement et complètement un système dont l'usage est entré dans les mœurs.

Comme la consommation du pétrole est loin d'atteindre en France un chiffre annuel comparable à celui des dépenses de gaz et d'électricité, l'extension de la consommation de l'alcool serait, limitée à l'usage domestique hors des villes, assez lente et assez faible. Elle n'aurait, en effet, à conquérir peu à peu que quelques centièmes du tribut payé par notre pays à l'étranger.

Il me semble impossible qu'une notable partie de l'argent employé dans les grands centres à payer du charbon venu de loin ne fasse pas retour aux campagnes voisines sous la pression certaine de l'opinion locale. Celle-ci demandera bientôt aux cités principales de chaque région de consommer pour leur éclairage un peu des produits indigènes.

Il se peut donc que, bientôt, les grandes industries de lumière soient conduites à devenir plus éclectiques ; elles feraient, en ce cas, pour l'alcool, ce que les Compagnies de gaz, après de longues incertitudes, ont fait pour l'électricité. Je n'hésite pas à dire aujourd'hui que c'est de ce côté que j'entrevois, pour la nouvelle industrie, l'avenir le plus souhaitable.

CHRONIQUE

N° 264

SOMMAIRE. — Le chemin de fer Nicolas. — Projet d'installations hydro-électriques pour Saint-Pétersbourg. — Les moteurs à gaz de hauts fourneaux en Autriche. — Une drague à commande hydraulique. — Influence de l'automobilisme sur la construction et l'entretien des chaussées. — Goudronnage des chaussées.

Le chemin de fer Nicolas. — Le 1er novembre dernier marque le cinquantième anniversaire de l'achèvement du chemin de fer Nicolas qui est la première ligne établie en Russie, si on ne tient pas compte du petit chemin de fer de Saint-Pétersbourg à Tsarkoé-Sélo, construit en 1838. Cette ligne très importante, qui réunit l'ancienne et l'actuelle des capitales de la Russie et qui a comme tributaires quantité de voies ferrées aboutissant dans l'intérieur de l'empire, a vu son trafic se développer graduellement dans d'énormes proportions. Une des particularités qui ont toujours distingué cette grande ligne, dès l'origine, est la manière large dont elle a été établie, avec double voie, bâtiments de stations en maçonnerie, abondance de matériel roulant, etc. Néanmoins le trafic s'est développé si rapidement qu'il a fallu, pour maintenir la ligne à sa hauteur, multiplier les voies de garage, construire des lignes d'accès secondaires et augmenter continuellement le matériel roulant. Les ponts de bois, établis à l'origine, ont été graduellement remplacés par des ponts en maçonnerie, etc.

Dans son état actuel, le chemin de fer Nicolas comprend : la ligne principale de 609 verstes ou 650 *km*; l'embranchement du port de Saint-Pétersbourg, 17 *km* ; des lignes d'accès d'un développement de 18,5 *km* et des embranchements, dont un tiers seulement, soit 14 *km*, est exploité, ce qui donne un total de 700 *km* en nombre rond.

Le coût primitif de construction était de 64 664 731 roubles ou environ 175 millions de francs, ce qui donne un prix moyen de 107 000 roubles par verste ou 270 000 *f* par kilomètre.

Lorsque la ligne passa en 1868 aux mains de la Grande Compagnie Russe, la valeur en fut estimée à 80 millions de roubles, soit 133 000 par verste. Quand la ligne fut reprise par l'État, en 1894, le prix fut fixé à 217 000 roubles par verste et enfin, en 1898, il fut estimé à 219 000 roubles.

Ainsi, dans l'espace de cinquante ans, le chemin de fer Nicolas avait triplé de valeur si on prend en considération les nouveaux travaux et l'énorme accroissement de matériel roulant. En 1851, il y avait 162 locomotives seulement ; en 1868, leur nombre était de 191 ; en 1894, de 414, et enfin, en 1900, de 522, ce qui fait 3,22 fois le chiffre primitif. Pour les wagons à marchandises, le nombre a passé de 2 000 en 1851 à 10 144 en 1894, soit plus de cinq fois. Le trafic s'est accru dans des proportions analogues. Ainsi, en 1852, le chemin de fer Nicolas transportait 780 000 voyageurs et 10 252 000 pouds de marchandises ; en 1870, les chiffres s'élevaient à 1 498 000 et 67 666 000, en 1894, à 2 263 000 et 313 034 000

et enfin, en 1900, à 4 252 000 voyageurs et 377 millions de pouds de marchandises, c'est-à-dire que, depuis 1870, le nombre de voyageurs transportés a triplé et le tonnage des marchandises sextuplé. Si la comparaison est faite avec les chiffres de l'origine, on trouve que, depuis l'ouverture de la ligne, le trafic des voyageurs a cru dans le rapport de 1 à 6 et celui des marchandises de 1 à 37. Cet énorme développement tient, en très grande partie, à ce qu'au début, la ligne Nicolas ne servait qu'aux communications entre Saint-Pétersbourg et Moscou. Plus tard, lorsqu'on établit d'autres lignes importantes convergeant sur Moscou, ces lignes apporteront à la première une quantité toujours croissante de marchandises destinées au nouveau port de Saint-Pétersbourg ou à celui de Revel, la capitale de la province baltique de l'Esthonie. La construction de la ligne de Rybinsk-Bologoë, en 1870, contribua aussi largement au développement du trafic des marchandises du chemin de fer Nicolas en faisant passer par Moscou une large proportion des céréales provenant du bassin supérieur du Volga qui, auparavant, prenaient la voie du système de canaux Marie. D'autres lignes telles que le Novogorod, le Novotorysk et le Ryeff-Viazma, formèrent aussi des affluents utiles pour le chemin de fer Nicolas.

Celui-ci peut être considéré comme ayant actuellement atteint tout son développement, car, non seulement les nouvelles lignes projetées ou en cours de construction : par exemple celles de Windau-Rybinsk, Saint-Pétersbourg-Viatka, ne lui fourniront pas de marchandises, mais, au contraire, absorberont une partie de son trafic actuel. On peut donc s'attendre à ce que le tonnage transporté n'augmentera plus désormais, mais que, de plus, d'années en années, la construction des nouvelles lignes aura pour résultat de le faire baisser.

Une autre particularité qui a distingué la ligne dont nous nous occupons dès l'origine est qu'elle a toujours été une ligne *payante*.

Ainsi, en 1852, les recettes nettes s'élevaient à 4 419 000 de roubles et les dépenses d'exploitation à 2 768 000, soit une recette nette de 1 651 000 roubles. Quand la ligne eut passé aux mains de la Grande Compagnie, laquelle exploitait très économiquement, les recettes nettes ont augmenté d'une manière progressive. En 1870, les recettes brutes montaient à 16 537 000 roubles et les dépenses à 7 130 000, laissant une recette nette de 9 407 000 roubles; en 1894, les recettes brutes s'élevaient à 27 256 000 roubles et les recettes nettes à 15 700 000. En 1898, ces chiffres étaient respectivement de 32 091 000 et 16 169 000 roubles. Non seulement la ligne produit assez pour payer l'intérêt et l'amortissement du capital d'établissement, mais elle donne encore un dividende qui, en 1898, a été de 2 0/0.

Au point de vue du trafic, le chemin de fer Nicolas n'est dépassé que par le chemin de fer Catherine, à celui du produit net par le Lodz, le Vienne-Varsovie et le Moscou-Koursk et enfin sous le rapport de la vitesse des trains que par les chemins de fer du Sud-Ouest.

Néanmoins cette ligne est considérée toujours comme la première de l'empire pour l'importance de son trafic général et elle conservera toujours l'avantage d'être la voie ferrée qui réunit les deux capitales de la Russie, la nouvelle et l'ancienne. Elle eut pu, d'ailleurs, rendre encore

de plus grands services sans la bizarre fantaisie qu'eût l'empereur Nicolas Ier lorsqu'on discutait le tracé de la ligne. On sait qu'il prit une règle et traça une ligne droite entre Saint-Pétersbourg et Moscou. sur la carte déployée devant lui en disant : voilà le tracé. Il lui suffisait de relier Moscou, le cœur de l'empire. à Saint-Pétersbourg, que Pierre le Grand, son fondateur, appelait une fenêtre ouverte sur l'Europe pour la surveiller. Les renseignements qui précèdent sont donnés par l'*Engineer* comme extraits de la *Gazette du Commerce et de l'Industrie*.

D'autre part, des journaux américains, traitant la même question, en profitent pour insister sur le rôle que Ross Wynans, de Baltimore. a joué dans la construction du chemin de fer Nicolas où il avait introduit le matériel roulant américain. Ils donnent, empruntés aux journaux russes, quelques détails curieux qu'on ne trouve pas dans l'article que nous avons reproduit ci-dessus.

Il ne fallut rien moins que l'autorité absolue du czar pour vaincre l'opposition extrêmement vive que soulevait le projet du nouveau chemin de fer. Un certain Narkis Oreschkoff, membre de plusieurs sociétés savantes, se distingua par la violence de son argumentation; son thème était que la ligne était à peu près impossible à construire et que, si on parvenait néanmoins à l'établir, elle ne servirait à rien. Il indiquait que. sur la faible longueur de Liverpool à Manchester, les trains avaient quelquefois plusieurs heures de retard et que, si on prenait la proportion des longueurs, avec les 640 *km* de distance entre Saint-Pétersbourg et Moscou, les retards seraient de plusieurs jours. Il contestait la possibilité de voir le chemin de fer amener un abaissement de prix des denrées dans les deux capitales, parce que, disait-il, ces stations extrêmes ne serviraient qu'à faire transiter les marchandises. Le tarif proposé de 125 *f* pour le parcours devait ruinerla Compagnie, le transport devant, d'après les calculs du savant Oreschkoff, coûter plusieurs fois cette somme. Il établissait, par des raisonnements irréfutables selon lui, que le nombre de voyageurs transportés annuellement, ainsi que le tonnage des marchandises devait être à peu près insignifiant.

Ces arguments étaient présentés vers 1845. époque à laquelle il existait déjà en Europe et en Amérique plusieurs milliers de kilomètres de chemins de fer. Ce qui paraît plus étonnant est que ces allégations aient eu assez de poids pour qu'un comité composé de ministres et hauts fonctionnaires ait pu rejeter à une majorité écrasante le projet d'un chemin de fer qui, une fois exécuté, donnait, dès 1852, une recette nette de 4,5 millions de francs et, en 1900, une de 45 millions.

Ces oppositions nous paraissent aujourd'hui absurdes, il n'y a pas besoin d'aller en Russie pour en trouver des exemples dans le passé. On connaît les arguments de Thiers et d'Arago contre les chemins de fer. mais la bibliothèque de notre Société contient des brochures bien curieuses dans cet ordre d'idées. Nous nous bornerons à indiquer les suivantes : « Les chemins de fer seront ruineux pour la France et spécialement pour les villes qu'ils traverseront ». Paris et Nancy, 1842 et « Déraison et dangers de l'engouement pour les chemins de fer ». Paris 1838. Cette dernière est due à Victor Considérant et s'appuie en partie sur des théories de Wronski.

Projet d'installations hydro-électriques pour Saint-Pétersbourg. — Le journal *Engineering News* publie un mémoire de M. Dobrotvorsky, Ingénieur à Saint-Pétersbourg, sur un projet pour la transmission électrique, à Saint-Pétersbourg, de forces hydrauliques considérables produites à quelque distance de cette ville. Comme il s'agit de plusieurs milliers de chevaux à fournir à une cité comptant un million et demi d'habitants, on peut ranger cette entreprise parmi les plus importantes de l'époque.

Le projet consiste dans l'établissement de trois stations centrales hydrauliques de 28 000 à 38 000 *ch* chacune sur trois grandes rivières, dans la transmission de la puissance à Saint-Pétersbourg par des lignes à haute tension sur des distances de 110 à 170 *km*, dans l'installation de stations de transformation et de distribution du courant dans la ville, enfin dans des améliorations de la navigation dans les rivières précitées.

Il faut dire, tout d'abord, que Saint-Pétersbourg est placé d'une manière très favorable au point de vue de l'installation de forces hydrauliques importantes. Trois lacs, le lac Saïma, au nord, le lac Peipus, au sud-ouest, et le lac Ilmen, au sud-ouest, servent chacun d'exutoire à une surface d'environ 80 000 km^2 et se vident à la mer par des cours d'eau à pente considérable, les rivières Vuoksa, Narova et Volkhov, lesquelles, à des distances de 110 à 160 *km* de Saint-Pétersbourg, possèdent de grandes facilités pour l'installation de forces hydrauliques.

Aux rapides du Volkhov, à 110 *km* de la capitale, le projet prévoit l'établissement d'un barrage en maçonnerie, créant une chute de 11,50 *m* et une puissance de 38 000 *ch*. Cette chute sera utilisée par 18 turbines, dont chacune actionnera 3 dynamos (total 54) de 500 kilowatts; l'énergie produite sera conduite à Saint-Pétersbourg par deux lignes de conducteurs en cuivre, au nombre de six pour chacune, d'une section totale de 5,5 cm^2 par ligne. Le barrage sera d'un modèle spécial avec des hausses mobiles pour faciliter l'écoulement des eaux provenant des crues et des glaces, et des écluses pour la navigation, laquelle est actuellement incertaine et dangereuse. On établira ainsi une communication fluviale commode avec les lacs Onega et Ladoga et, par là, avec les riches bassins minéraux d'Olonetz, ce qui amènera dans ces localités l'établissement d'industries importantes. On se propose, en même temps, d'installer la traction électrique sur les canaux du Ladoga, près desquels doivent passer les lignes de conducteurs.

La rivière Narova présente une série de rapides et une chute près de la ville de Narva, située à 140 *km* de Saint-Pétersbourg, sur le Golfe de Finlande et sur la ligne des chemins de fer de la Baltique. Les installations de force motrice présentent une grande analogie avec celles de la rivière précédente, mais l'existence de quelques usines sur la chute ne permettra d'utiliser qu'une dénivellation de 10,50 *m* environ au lieu de 12 *m*, ce qui réduira la puissance disponible de 50 000 à 28 000 *ch*. La transmission du courant se fera par deux lignes à quatre conducteurs, d'une section totale de 4,5 cm^2 de section par ligne. On peut prévoir un développement industriel considérable à Narva et dans les parties voisines de l'extrémité du lac Peipus.

Sur la Vuoksa, les rapides et la chute, à Imatra, se trouvent à une distance de 170 *km* de Saint-Pétersbourg. A cause de la hauteur de la différence de niveau, les travaux hydrauliques ne présenteront pas la même disposition que les précédents. On se propose d'exécuter un canal de dérivation détournant un quart environ de volume d'eau passant actuellement par la chute, et d'y établir une chute artificielle donnant 38 000 *ch*. Les appareils hydrauliques seront du même type que les autres installations, et la ligne qui sera la plus longue de toutes sera formée d'une double ligne de trois conducteurs de 7 cm^2 de section totale pour chacune.

Le système de distribution en ville comprendra huit réseaux, d'un développement total de 180 *km* pour chacun. On pourra peut-être utiliser quelques-uns des réseaux de distribution actuels. On prévoit les consommations suivantes peu après l'achèvement des travaux :

300 000 lampes à incandescence consommant . .	16 800	kilowatts.
4 000 lampes à arc consommant	3 200	—
Traction sur les tramways.	3 600	—
Emplois divers de force motrice	25 000	—
Total	48 600	kilowatts.

L'éclairage public sera assuré gratuitement pour les rues et les services municipaux et, on a calculé qu'on pourra fournir l'électricité aux particuliers à un prix qui ne dépassera pas la moitié des prix actuels.

Les installations sont prévues pour un chiffre de 66 000 *ch* délivrés aux transformateurs, ce qui fait une moyenne de 1 800 *ch* par kilomètre carré de superficie de la ville. Les trois sources d'électricité sont indépendantes, de sorte qu'on n'aura jamais une interruption complète. On prévoit, d'ailleurs, une extension possible par l'exécution de travaux ultérieurs pour le relèvement du niveau des lacs.

Le coût de l'entreprise est évalué à 70 millions de francs. La concession a déjà été accordée par le Gouvernement à une Compagnie qui s'est formée pour l'exécution du projet.

Actuellement, Saint-Pétersbourg est éclairé par dix stations centrales et il y a, en outre, 250 installations particulières d'éclairage. La capacité totale de ces installations est d'environ 50 000 *ch* alimentant 450 000 lampes à incandescence et 3 500 lampes à arc.

Avec les longues soirées d'hiver qu'amène la situation septentrionale de la capitale, la consommation d'éclairage est considérable et constante. Les tramways électriques, déjà très développés, absorbent également une large quantité de courant.

La distance à laquelle le courant doit être transmis est considérable, mais il faut dire, d'autre part, que l'électricité est actuellement fournie par des machines à vapeur brûlant du charbon importé d'Angleterre à grands frais, et qu'un projet ayant pour but de remplacer ces moteurs continus par des forces hydrauliques est évidemment très séduisant.

Les moteurs à gaz de hauts fourneaux en Autriche. — L'initiative de l'introduction des moteurs à gaz de hauts fourneaux, en Autriche, est due à la Compagnie minière de Bohême, à Vienne, qui a installé un moteur de ce genre, de 300 *ch*, dans ses usines de Königshof, en Bohême. Cette machine a été construite par la Maschinenbau Actiengesellschaft, de Prague, qui, en participation avec la Société Cockerill, de Seraing, a entrepris la fabrication des moteurs à gaz du type Delamarre-Deboutteville.

La machine dont nous nous occupons présente cette particularité intéressante que c'est le premier moteur à gaz de haut fourneau du type tandem. Il possède deux cylindres à gaz, placés l'un derrière l'autre, les diamètres sont de 700 *mm* et la course de 800 *mm*. Le piston du cylindre antérieur reçoit l'attache de la bielle motrice et est réuni avec l'autre piston par une tige commune. Les presse-étoupes, par lesquels passe cette tige, ne donnent lieu à aucune difficulté. Le nombre de tours est de 150 par minute, ce qui correspond à une vitesse de piston de 4 *m* par seconde.

Malgré cette vitesse élevée et ce nombre de tours considérable, le fonctionnement est très régulier et très doux et n'ébranle nullement les fondations.

La disposition tandem adoptée présente, sur les arrangements où les deux cylindres sont l'un en face de l'autre avec une bielle motrice pour chacun, les avantages d'une plus grande simplicité et d'une régularité plus parfaite dans le mouvement. Ce dernier tient à ce que les efforts moteurs, au nombrè de deux pour chaque deux tours, sont distribués plus uniformément dans la disposition tandem, alors qu'avec les cylindres vis-à-vis, il y a deux courses utiles se suivant immédiatement et deux courses sans effort moteur après. Avec la machine tandem, on peut donc avoir un volant moins lourd.

Les cylindres, les boites à soupapes et les soupapes elles-mêmes sont rafraichies par une circulation d'eau, de plus, les pistons présentent la même disposition; l'eau est introduite dans leur intérieur par un tube mobile sous une pression en rapport avec la vitesse de ces organes. La marche du moteur est contrôlée par une cataracte à air très sensible qui permet de régler le nombre de tours au degré voulu.

Le volant a 4,25 *m* de diamètre et pèse 22 *t*. Le moteur est accouplé directement à une dynamo à courant continu de 300 *ch* sous 120 volts, qui alimente l'éclairage et une distribution de force. Le gaz de haut fourneau employé a un pouvoir calorifique, mesuré au calorimètre de Junker, de 800 calories par mètre cube. L'analyse donne la composition suivante : acide carbonique, 13 0/0; oxyde de carbone, 25,1; hydrogène, 1,9 et azote, 60 0/0. Ces gaz, à la sortie du conduit de prise, contiennent environ 2 *g* par mètre cube de poussières, mais, après avoir passé dans des appareils de refroidissement et de nettoyage, la proportion de poussières est réduite à 0,6 *g* par mètre cube, ce qui, pendant une marche de deux mois, est insuffisant pour nécessiter aucun nettoyage des cylindres,

L'allumage se fait par l'étincelle électrique produite par une bobine de Rhumkorff. La mise en train se fait très simplement par l'aspiration

et la compression dans les cylindres d'une petite quantité de benzine enflammée en temps utile par l'étincelle électrique.

Les usines de Königshof ont installé, au printemps de cette année, une machine soufflante à moteur à gaz de haut fourneau construite par la Maschinenbau, de Prague.

Cette machine est du même modèle que celle exposée l'année dernière, à Paris, par la Société Cockerill, mais le cylindre soufflant porte des soupapes Stampf pour le refoulement et des soupapes Corliss pour l'aspiration.

Ce type de machine est simple de construction et suffisant pour des volumes de 50 à 600 m^3. Si on a besoin d'une quantité d'air supérieure, on accouple deux machines de ce modèle.

Les usines de Kladno, en Autriche, ont également commandé aux mêmes constructeurs un double moteur tandem de 600 *ch*. Il se compose de deux moteurs semblables à celui qui a été décrit plus haut, accouplés avec les manivelles à 180° ; comme il y a quatre cylindres, on a une explosion pour chaque demi-tour et une régularité très satisfaisante ; cette machine est destinée à commander une dynamo à courant alternatif.

Ces renseignements sont extraits de l'*Iron Age*.

Une drague à commande hydraulique. — Un journal de la Nouvelle-Zélande, le *Mining Digest*, donne des détails sur une très curieuse installation, celle d'une drague, précédemment à vapeur, actuellement mue par une roue hydraulique. Cet arrangement est dû à un M. O'Brien qui l'avait d'abord expérimenté sur une petite drague qui avait bien marché pendant environ une année, et que le succès obtenu a engagé à faire l'application sur une plus grande échelle.

La drague porte une roue Pelton de 1,22 *m* de diamètre qui actionne la chaîne à godets et la pompe par les transmissions ordinaires. La roue reçoit, par un ajutage de 45 *mm* de diamètre l'eau arrivant sous une charge de 50 *m* d'eau. Cette eau est amenée par une conduite de 1 200 *m* de longueur qui a 0,275 *m* de diamètre à l'origine, 0,22 *m* au milieu de la longueur et 0,175 à la drague. Cette conduite repose par des parties, munies de joints sphériques, sur quatre pontons ou flotteurs de 1,80 × 1,50 *m*. Un joint semblable est placé à terre, de sorte que les pontons peuvent suivre les dénivellations de l'eau sur laquelle ils flottent sans que les tuyaux qui forment la conduite soient soumis à des efforts excessifs. Sur la drague, le tuyau porte sur un chariot qui se déplace sur un chemin en arc de cercle fixé sur le pont, ce qui permet à la drague de pivoter sur elle-même, en cas de besoin, pour travailler dans des angles.

Il y a une autre roue Pelton reversible dont l'ajutage est muni d'un robinet à trois voies ; cette roue actionne les treuils. L'eau provient d'une hauteur située à peu de distance sur la côte. La roue Pelton a été construite par les ateliers Burt, à Dunedin, sur les plans originaux de M. O'Brien. Les godets de la drague ont une capacité de 90 *l*.

Les éclissages électriques. — Le *Bulletin technique de la Suisse romande* décrit un nouveau système d'éclisses électriques appliqué aux tramways de Genève.

Le développement énorme et sans cesse grandissant des utilisations de l'énergie électrique produit forcément des anomalies et des complications provenant de l'electricité elle-même sous forme d'induction et de courants dérivés, véritables agents destructeurs, parmi lesquels les plus redoutables sont certainement les courants dits « vagabonds » qui déterminent l'électrolyse des câbles et des conduites métalliques.

Les courants vagabonds se présentent fréquemment dans les installations de tramways électriques qui utilisent les rails pour le retour du courant.

Ces phénomènes proviennent souvent du fait que l'on attache trop peu d'importance à l'éclissage électrique des rails, qui consiste à relier électriquement, avec le plus grand soin, les diverses longueurs de rails de façon que la voie entière, constituant la ligne de retour, présente la plus parfaite homogénéité au point de vue de la conductibilité. Il existe, à cet effet, une variété considérable de types d'éclisses électriques, qui toutes présentent de plus ou moins grandes défectuosités, aucune d'elles n'assurant l'union intime et parfaite entre le rail et l'extrémité du joint, de là résulte une résistance considérable au passage du courant. Un autre défaut provient de ce que les éclisses électriques formées de fils de cuivre sont généralement trop longues.

Il existe un modèle d'éclisses électriques se composant d'un amalgame du mercure appliqué directement entre l'âme du rail et l'éclisse ordinaire. Ce type offre certainement les meilleures garanties, son seul défaut est de coûter trop cher.

Depuis quelque temps, on utilise pour la construction des tramways électriques de Genève un nouveau genre d'éclisses électriques qui paraît satisfaire à toutes les exigences en donnant les meilleurs résultats. Cette éclisse, de 12 *cm* de longueur, se compose de huit cordes de cuivre de 3 *mm* de diamètre chacune, brasées à leur extrémité sur des plaques de cuivre perforées. La pose de cette éclisse se fait de la façon suivante : On avive soigneusement l'âme du rail à chacune des extrémités à rejoindre, les surfaces ainsi décapées sont ensuite étamées et sur ces dernières l'on soude les extrémités de l'éclisse électrique. L'éclisse mécanique vient se placer par-dessus, protégeant d'une façon parfaite le joint électrique.

Cette éclisse, comme on le voit, résume tous les avantages possibles, elle est très courte, d'une section très large, présente une très grande flexibilité, fera corps avec le rail, revient très bon marché et se pose avec facilité.

Ce mode d'éclissage électrique est appelé à rendre de grands services et sera certainement adopté par toutes les entreprises de tramways électriques soucieuses d'assurer à bon compte les connexions rationnelles de leurs conduites de retour.

Influence de l'automobilisme sur la construction et l'entretien des chaussées. — Nous trouvons, sous ce titre, dans les *Annales des Travaux publics* de Belgique l'intéressante note qui suit.

Les conseils généraux de France se sont activement occupés, dans ces dernières années, de l'application de l'automobilisme aux services de messageries et de transport en commun.

Bien que les renseignements que nous possédons remontent à l'avant-dernière session de ces conseils, on peut, cependant, en extraire encore, sur certains points, de fort utiles indications. Du rapport d'une commission spéciale, nommée par le Conseil général de la Vienne, il résulte qu'à cette époque, quatorze départements avaient entamé des études sur la question, sans être arrivés à organiser un service ; quatre autres avaient fait des essais plutôt malheureux, qui avaient amené l'abandon du système ; enfin, dans neuf autres départements (Haute-Saône, Seine-et-Marne, Saône-et-Loire, Nord, Drôme, Côtes-du-Nord, Seine, Meuse et Calvados) l'exploitation était entrée dans la pratique, mais était de date trop récente pour que l'on pût en tirer des conclusions certaines.

Il paraît y avoir une quasi-unanimité sur le point suivant : les routes, dans leur état actuel, ne sont pas en situation de supporter l'excès de fatigue qui résulte du nouveau mode de traction ; il faudra les transformer, les renforcer et les élargir ; le coût de leur entretien sera considérablement augmenté ; la majoration est évaluée à 200 *f* le kilomètre, pour les départements de Meurthe-et-Moselle et de la Haute-Saône. De ce chef, il y a lieu d'admettre que l'extension de l'automobilisme aura pour conséquence un accroissement appréciable des charges de voirie qu'ont à supporter les pouvoirs publics.

Le rapport présenté au Conseil général de la Charente donne, à cet égard, quelques chiffres intéressants. Les routes nationales, départementales et de grande communication supportent convenablement, dans ce département, des charges de 9 000 *kg* traînées à des vitesses de 4 *km* à l'heure. Si l'on augmente la vitesse de traction, l'usure s'accroît parallèlement et, pour une chaussée de résistance donnée, on est amené à réduire la charge. Le service spécial du département de la Charente estime que, si la vitesse est portée à 15 *km* à l'heure, la charge doit être réduite à 3 000 *kg* par essieu ; deux autres départements donnent, pour la même hypothèse, 2 500 et 2 400 *kg* ; à Londres, la charge est limitée à 1 500 *kg* par essieu.

L'accord n'est pas complet entre ces chiffres, mais ils indiquent cependant de façon précise que, de l'avis unanime, l'usure produite sur une chaussée par le transport d'une charge donnée, croît avec la vitesse de transport et que, par conséquent, si l'on admet que le transport par automobile doit être plus rapide que celui par traction animale, il faudra, à peine de voir abîmer complètement les routes, non seulement comme il est dit plus haut, augmenter leur résistance, mais encore disposer la carrosserie des voitures automobiles de façon que les dégradations soient réduites à un minimum.

Quant au premier point, les Ingénieurs français portent à des chiffres variant de 2 000 à 10 000 *f* par kilomètre le coût de la transformation qu'il faudrait faire subir aux chaussées pour les mettre à même de résister à la circulation rapide des poids lourds.

La Commission de la Charente se demande si, dans cet ordre d'idées, tant que l'emploi des pneumatiques ne se sera pas généralisé, il ne conviendrait pas, conformément aux conclusions des expériences du général Morin, de proscrire l'usage des roues à jantes étroites, l'emploi

de bandages de largeur suffisante diminuant l'effet destructeur produit par le transport d'une charge donnée.

Ajoutons que ces expériences ont également établi, à ce même point de vue, la supériorité des roues de grand rayon sur celles de faible diamètre; la réglementation du roulage, pour être logique et complète, devrait avoir égard à ce fait et encourager l'emploi des automobiles à roue de grand modèle; une telle mesure serait essentiellement utile au point de vue de la conservation des chaussées.

Goudronnage des chaussées. — On sait qu'on a essayé aux États-Unis de répandre du pétrole sur les routes pour empêcher la poussière; ce système peut convenir dans les pays où on peut avoir les huiles minérales à bon marché, mais il n'en est pas partout ainsi. En Italie on a essayé dans le même but le goudron de gaz.

M. G. Rimini, Ingénieur provincial à Lugo (Ravenne) a donné dans le journal *Le Strade* de septembre 1901, quelques indications sur cet emploi. Il en a fait l'application à deux endroits de la route provinciale, près de la ville de Lugo, où la circulation est très active. La première partie mesure 13 *m* de longueur sur 3 de largeur et la seconde 246 *m* sur 4,70. Malgré la sécheresse prolongée, les résultats ont dépassé l'attente.

La surface de la route devient très dure et très compacte au point d'être difficile à entamer; il n'y a aucune poussière, les eaux pluviales s'écoulent sans pénétrer et il ne se forme pas de boue. La couleur du sol devient celle du sable très foncé.

La dépense est de 7 1/2 centimes par mètre carré pour la première application, mais diminue pour les applications suivantes; le goudron liquide fourni par l'usine à gaz de Ravenne, revient à 5 *f* les 100 *kg*.

Il n'est pas nécessaire de goudronner la surface entière de la route, mais seulement une bande de 4 *m* de largeur; on peut ainsi compter sur une dépense de 300 *f* seulement par kilomètre, laquelle est inférieure à celle du traitement par le pétrole des routes, aux États-Unis.

L'Ingénieur Rimini va continuer à observer la manière dont se comportent les deux portions de route dont nous venons de parler, avant d'appliquer le procédé sur une plus grande échelle.

Ces renseignements sont extrait, du *Bulletin* du 8 décembre 1901 de la Société des Ingénieurs et Architectes italiens.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

NOVEMBRE 1901.

Rapport de M. Ed. SAUVAGE sur une **presse pour huileries** de M. HEUCLIN.

Le principe de cette presse, dite à pression de champ, est que les graines oléagineuses qu'il s'agit de comprimer sont disposées en galettes rectangulaires, relativement minces et que la pression s'exerce, non sur le plat, mais latéralement sur les petits côtés pour que l'huile s'écoule plus facilement par les deux grandes faces de la galette. Cette disposition permet, d'après l'inventeur, d'appauvrir plus complètement les matières comprimées.

Rapport de M. A. BRULL sur un **foyer du système Kudlicz** construit par M. Ch. DOUDERS, fondeur à Nancy.

Le foyer Kudlicz se compose de plaques juxtaposées, percées de trous coniques, formant la face supérieure d'un caisson en fonte dans lequel arrive de l'air sous pression qui sort par les trous. Cet air est amené par un injecteur à vapeur. Ce foyer peut s'adapter facilement à tous les types de chaudières, brûler tous les combustibles sans donner de fumée noire. Cinq cents de ces foyers sont actuellement en usage en France.

On peut, au lieu d'un injecteur à vapeur, dont l'usage peut être peu économique, employer un ventilateur pour souffler l'air.

Rapport de M. Ed. SIMON sur un **système de manivelle de sûreté** pour appareils de levage, de M. Ch. FAGEDET.

Ce système a l'avantage sur certains dispositifs remplissant le même but, de ne pas obliger l'opérateur à effectuer lui-même le détour de la manivelle ou de laisser ce détour se produire à une allure plus ou moins vive. La manivelle n'est actionnée que pendant la levée de la charge ; elle reste toujours immobile pendant la descente. A cet effet, elle est solidarisée avec un manchon conique qui porte la roue d'encliquetage et qui s'engage à frottement doux sur un second cône, fixé à l'extrémité de l'arbre de l'appareil. Un ressort assure, par l'intermédiaire d'une vis de serrage, l'emboîtement des deux cônes et, par suite, l'entraînement de l'arbre. Aussi longtemps que le ressort agit, l'adhérence des surfaces détermine le levage ou la suspension de la charge. Pour déterminer la descente, il suffit de desserrer légèrement la vis à l'aide d'un levier à main, ce qui diminue l'adhérence des cônes et permet le détour de l'arbre, sans que la manivelle, qui est solidaire du cône extérieur, participe au mouvement. Cette disposition semble une solution aussi pratique qu'élégante du problème.

Note sur une **variante du procédé au minerai** pour la fabrication de l'acier, par M. E. de Loisy.

On emploie en Russie une modification du procédé au minerai, ou *Ore Process*, modification due aux frères Goriaïnof et qui ne parait pas être connue en France. Elle consiste essentiellement à préparer à l'avance une sorte de scorie affinante, composée d'un mélange de minerai de fer et de chaux et à y incorporer ensuite, soit liquide, soit solide, la fonte à affiner.

La note décrit en détail le procédé, tel qu'il est employé à l'usine de Nadiejdinski pour la production de rails destinés au Transibérien ; et donne des renseignements très complets sur la composition des aciers obtenus.

La convention du mètre et le Bureau international des poids et mesures, par M. Ch. Ed. Guillaume *(suite)*.

Cette partie continue l'étude des mesures de longueurs et s'occupe des mètres prototypes, de la permanence des étalons, des étalons géodésiques modernes des divers pays, puis des méthodes et instruments qui servent à la détermination des masses, balances à bras, balances hydrostatiques, etc.

Les navires de guerre modernes, par M. L. de Chasseloup-Laubat *(suite)*.

Cette partie s'occupe de la marine japonaise.

Contribution à **l'étude des alliages cuivre-aluminium,** note de M. L. Gaillet *(Comptes-rendus de l'Académie des Sciences)*.

Sur une **nouvelle manipulation des gaz liquéfiés** en tubes scellés, note de M. H. Moissan *(Comptes-rendus de l'Académie des Sciences)*.

Notes de mécanique. — On trouve dans ces notes une étude sur des essais pour déterminer la variation de résistance et de l'allongement du bronze avec la température, d'après M. C. Bach, la description d'un pont roulant de fonderie actionné par l'électricité des aciéries de Prague, à Klodno, de divers outils pneumatiques pour ateliers et de la poinçonneuse hydraulique Graves.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

Deuxième trimestre de 1901.

Notice sur **la vie et les travaux de Victor Fournié,** Inspecteur général des Ponts et Chaussées, par M. A. Choisy, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Paroles prononcées aux obsèques de M. Joseph Hirsch, Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, par MM. de Dar-

TEIN, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, HATON DE LA GOUPILLIÈRE, Inspecteur général des Mines, CHAUDEZE, Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers et PONTZEN, Président de l'Association des Ingénieurs anciens élèves externes de l'École des Ponts et Chaussées.

Transformation du matériel et des procédés de la marine marchande et conditions à réaliser dans la construction des ouvrages maritimes des ports de commerce. — Rapport fait au huitième Congrès de navigation tenu à Paris en 1900, par M. VETILLART, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Ce rapport très documenté, étudie d'abord le navire à vapeur employé pour la navigation au long cours dans ses divers éléments ; dimensions, déplacement, poids de la coque et de l'appareil moteur, charge utile, limite des distances franchissables, puis les procédés nouveaux du commerce maritime, les conditions d'établissement des ouvrages des ports de commerce qui doivent se modifier avec les dimensions des navires et les conditions nouvelles de la navigation. L'auteur insiste en terminant sur la nécessité de concentrer les opérations de la grande navigation maritime, sur un petit nombre de points judicieusement choisis, ce qui est une condition essentiellement nécessaire au développement de la prospérité commerciale d'un pays.

Note sur **les transports par camions automobiles,** par M. BRET, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

L'auteur expose qu'il a été amené à rechercher s'il y avait intérêt, pour le transport, dans Paris, du combustible des dépôts aux ateliers de rechargements, à remplacer les véhicules à chevaux par des camions automobiles. Il a étudié, par suite, les divers types de camions automobiles dont il donne une courte description.

Pour établir le prix de revient de la tonne kilométrique, la note examine successivement comment varient les prix d'achat, les poids morts et la consommation, suivant les charges utiles et la nature de la source d'énergie.

On est obligé de reconnaitre que les prix de revient auxquels on arrive, varient dans des limites très étendues et ne se prêtent guère à une comparaison entre les divers moteurs.

Ainsi, la note donne pour prix de la tonne kilométrique utile, de 1,13 *f* à 0,27 *f* pour la vapeur, de 1,04 *f* à 0,48 *f* pour l'essence, de 1,04 *f* à 0,44 *f* pour l'électricité, et enfin de 1,56 *f* à 0,72 *f* pour l'air comprimé, en supposant les transports effectués à charge entière. L'auteur fait, néanmoins, une comparaison entre les divers systèmes, au point de vue de leurs avantages et de leurs inconvénients et finit par conclure qu'aux prix actuels des combustibles, les camions automobiles luttent difficilement avec les camions à chevaux, surtout pour les faibles charges et les faibles vitesses. Ce n'est que grâce à la supériorité de la vitesse que le prix de revient de la traction mécanique peut devenir comparable à celui de la traction par chevaux, en augmentant l'utilisation du véhicule. Un service qui ne permettrait pas d'utiliser cette qualité ne tirerait aucun profit des automobiles.

Il s'agit ici d'un service permanent. En revanche, pour un service intermittent, le camion mécanique présente l'avantage de ne pas consommer pendant les jours de repos. L'économie qui en résulte est notable, surtout avec les camions à essence, pour lesquels, avec les prix élevés de cette matière, la dépense en combustible peut atteindre la moitié du prix de revient.

En résumé, on peut dire que, jusqu'à présent, le choix du mode de traction est essentiellement une question d'espèce et exige une étude prudente des conditions d'exploitation.

De **l'influence des travaux de régularisation sur le régime des rivières,** notamment en ce qui concerne les inondations, par M. L.-L. Vauthier, Ingénieur des Ponts et Chaussées en retraite.

Cette communication de notre regretté Collègue avait pour but d'appeler, avec application spéciale à la Loire, l'attention du VIIe Congrès international de navigation sur le moyen de combattre, à l'aide de réservoirs d'étiage, la pénurie des débits qui, dans la saison sèche, nuit si fortement à la navigabilité des rivières non canalisées. L'auteur espérait qu'il se déterminerait ainsi un mouvement favorable à la navigation libre en lit de rivière que, sur trop de points, d'après lui, l'ingénieuse invention des barrages mobiles a fait délaisser. Il semble que les recherches relatives aux progrès de la grande question sociale qu'est la navigation des rivières pourraient porter utilement surtout sur deux questions : les précipitations pluviales et le jaugeage des cours d'eau.

Il serait éminemment utile de rechercher les lois des grands mouvements de l'atmosphère et d'étudier la question si controversée de l'influence locale du reboisement sur la précipitation des pluies et la transmission de l'eau tombée aux thalwegs. Quant aux jaugeages, il serait oiseux d'insister sur leur extrême utilité. L'auteur estime que ces questions devraient être comprises dans les programmes des futurs Congrès de navigation.

Sur **le calcul des pièces rectangulaires fléchies,** au moyen de la théorie de l'élasticité, par M. A. Mesnager, Ingénieur des Ponts et Chaussées,

Jusqu'à présent, la théorie de l'élasticité n'a fourni la solution du problème de la flexion des poutres que pour les tronçons séparés par une certaine distance des charges ou des points d'appui, c'est-à-dire qui ne supportent aucun effort extérieur transversal et qui sont à une distance suffisante des points supportant ces efforts. L'auteur démontre qu'on peut résoudre rigoureusement, sauf dans la région des appuis, tous les cas de poutres rectangulaires, infiniment minces, portant une charge répartie suivant une loi algébrique, et approximativement, les mêmes cas quand la poutre n'est pas infiniment mince.

Appareil enregistreur de la déformation locale des pièces métalliques, par MM. Schoelder, Van der Kolk et Kist, Ingénieurs des Chemins de fer des Pays-Bas.

Cet appareil peut donner à volonté, soit une seule courbe indiquant

les valeurs maxima du travail, soit un diagramme continu pendant un certain intervalle de temps. Son principe est la liaison, par une bande d'acier, de deux parties qui se fixent à la pièce à étudier, et dont l'une est l'indicateur dont les mouvements sont enregistrés.

(A suivre).

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Septembre-Octobre 1901.

District de Paris.

Séance du 7 juin 1901.

Communication de M. Pelatan sur **les gîtes et la métallurgie du mercure en Italie.**

La note étudie quelques gites dans le district cinabrifère de Monte-Auriata (Toscane) qui est le plus important et a peu près le seul exploité sur une grande échelle et le mode de traitement employé pour les minerais. Le four employé en Italie est le four Cermak-Spirek et les méthodes suivies permettent de traiter avec profit des minerais dont la teneur peut descendre jusqu'à 0,5 0/0.

Communication de M. Lencauchez sur **l'épuration des gaz des hauts fourneaux.**

L'auteur rappelle les principales inventions qui ont trait à l'épuration des gaz des hauts fourneaux en vue du chauffage du vent d'abord, puis en vue de l'utilisation des gaz dans les moteurs, et décrit les appareils laveurs et épurateurs qu'il a construits depuis 1858. Il termine en discutant les modes d'emploi actuels des gaz de hauts fourneaux, en particulier dans les moteurs.

District du Centre.

Séance du 30 juin 1901 (suite).

Communication de M. Martinet sur **la décroissance de résistance des câbles de mines en aloès.**

L'auteur, recherchant dans quelles conditions doivent être effectués les essais périodiques des câbles d'extraction en aloès pour être comparables, montre d'abord que le résultat des essais ne dépend pas de l'état hygrométrique du câble et ensuite que ce résultat ne peut être considéré comme certain pour les premiers essais faits et toutes les fois que la rupture n'a pas lieu nettement par traction à une certaine distance des amarrages.

On a pu constater une décroissance de résistance notable allant jusqu'à 50 0/0 sur la région du câble qui passe sur la molette; la résistance

par centimètre carré à la patte ne peut donc, dans certains cas, être considérée comme un minimum de résistance du câble.

On a pu remarquer encore que la résistance à la patte reste à peu près constante, tant que les essais ne sont pas faits à une distance supérieure à la hauteur du chevalement. Quand on a dépassé cette limite, les résultats sont progressivement décroissants pour toute la partie entre la molette et la bobine, puis la résistance va en croissant légèrement ou reste constante.

De quelques expériences, il semble résulter que l'empattement a une résistance très inférieure à celle du câble et qu'il existe des différences sensibles entre les fractions représentant la résistance de l'empattement rapportée à celle du câble suivant que celui-ci est neuf ou usagé.

Réunion de Saint-Étienne.

Séance du 13 juillet 1901.

Visite au puits Gillier de la Compagnie des Mines de la Péronnière.

On a d'abord examiné la machine d'extraction fournie par la Société nouvelle des établissements de l'Horme et de la Buire, C'est un moteur horizontal à deux cylindres de 1 200 × 2 *m* avec tiroirs à pistons et tuiles de détente système Rieder, actionnées par un régulateur à force centrifuge. Les tiroirs, placés sur le côté extérieur des cylindres, sont actionnés par un arbre à trois coudes, formant de chaque côté le prolongement de l'arbre moteur.

La descente est réglée par la marche à l'air comprimé des cylindres à vapeur qui aspirent l'air et le refoulent par un orifice dont le machiniste règle à volonté l'ouverture.

Les câbles s'enroulent sur deux tambours cylindriques égaux de 8 *m* de diamètre accolés l'un à l'autre et dont l'un peut être rendu fou sur l'arbre.

Le puits est actuellement foncé jusqu'à la profondeur de 569 *m* et la note donne la coupe des terrains traversés et des détails sur le prix de revient du travail.

Novembre-Décembre 1901.

District de Bourgogne.

Séance du 15 septembre 1901.

Communication de M. J. Riboud, sur **la pompe système Ashley.**

Dans cette pompe, le piston et les soupapes tant d'aspiration que de refoulement, sont sur la même pièce; les premières sont disposées autour du piston, ce qui permet de leur donner une section considérable par rapport à celle du piston. Le démontage et le remontage sont très rapides.

Communication de M. J. Riboud, sur **sa haveuse à percussion à air comprimé, système Eisenbeis.**

Ce type de haveuse, tout en étant très pratique pour le sous-cavage horizontal, comme les haveuses Sullivan et Ingersoll-Sergeant, est disposé pour faire les sous-caves parallèlement au plan de stratification de la couche dans les gîtes fortement inclinés, ce qui est un avantage très appréciable. L'emploi de cette haveuse est très répandu en Allemagne et plusieurs Compagnies houillères françaises l'ont adoptée.

Communication de M. Nugue sur **les condenseurs à mélange.**

L'auteur discute les avantages des différents systèmes de condenseurs et décrit, en particulier, le nouveau condenseur, système Weiss.

District de Paris.

Communication de M. Brull sur **un appareil pour l'étude de la circulation dans les chaudières à tubes d'eau.**

Cet appareil se compose de deux petits tubes concentriques formant un espace annulaire qui est fermé, il s'introduit dans le tube de chaudière dont on veut étudier le fonctionnement à travers un tampon percé qui remplace le tampon ordinaire du collecteur. Le tube extérieur porte un ajutage à angle droit à l'extrémité opposée à celle qui pénètre dans la chaudière et le tube intérieur porte à la même extrémité un ajutage en prolongement de son axe.

Quand la circulation dans la chaudière est normale la veine fluide vient frapper l'orifice du tube indicateur et la pression, laquelle se compose de la pression statique dans la chaudière et de la pression qui correspond à la quantité de mouvement du fluide mixte frappant l'orifice, est indiquée dans un appareil mesureur. La pression statique qui se fait sentir dans le tube-enveloppe par deux petits orifices percés à l'extrémité, du côté de la chaudière, se fait sentir dans un autre appareil de mesure. Ces appareils ne sont autre chose qu'un manomètre différentiel réuni par des tubes aux ajutages dont il a été question. On peut ainsi apprécier facilement le sens et l'intensité de la circulation dans les divers tubes d'une chaudière.

Communication de M. Pitaval sur **le four électrique en métallurgie.**

L'auteur divise les fours électrothermiques en trois groupes :

1° Les fours à arc qui dérivent tous des types Siemens ou Moissan-Violle;

2° Les fours à résistance produite par le mélange à traiter qui dérivent des types Cowles et Heroult;

3° Les fours à résistance superficielle ou à incandescence.

Une catégorie spéciale comprend les fours à chauffage extérieur ou four sans électrodes, basés sur le principe des transformateurs.

Le mémoire étudie la métallurgie électrothermique du fer, notamment les procédés Stassano, Keller, Gérard, etc. Il estime qu'on peut en attendre une économie considérable de combustible, par rapport aux procédés actuels, les trois quarts au moins. De plus, les appareils seront moins coûteux et moins volumineux.

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE.

Séance du 3 novembre 1901.

Communication de M. JOURNOLLEAU sur **l'émigration russe en Sibérie.**

Communication de M. PIERRONNE sur **les industries minières et métallurgiques de la Russie méridionale.**

Communication de M. VERNEY sur **le Congrès de Glasgow.**

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 48. — *30 novembre 1901.*

Exposition universelle de 1900. — Moteurs à explosion, par F. Freytag *(fin).*

Théorie et établissement des coussinets à billes, par Heermagen.

Exposition universelle de 1900. — Machines agricoles, par H. Gründke.

Nouvelle distribution pour machines à vapeur, par H. Dubbel.

Groupe de Breslau. — Fabrication des briques en sable et chaux.

Groupe de Dresde. — Expériences sur une turbine à vapeur de Laval, au point de vue de l'emploi d'une forte surchauffe de la vapeur.

Troisième réunion générale de l'Association technique des Constructeurs de navires, les 12 et 18 novembre, à Charlottenbourg.

Bibliographie. — Tables de calculs de Proell.

Revue. — Nouvelle disposition de joint de rails. — Chemin de fer à crémaillère dans l'Inde. — Canal maritime de Kœnigsberg.

N° 49. — *7 décembre 1901.*

Exposition internationale de moyens de secours contre l'incendie, à Berlin en 1901, par Kammerer et Meyer.

Pénétration de l'eau dans les corps solides, par Ph. Forchheimer.

Les machines-outils à l'Exposition de 1900, par H. Fischer.

La conservation de l'énergie au point de vue de l'Ingénieur, par Kammerer.

Groupe d'Alsace-Lorraine. — Mécanisme de l'horloge de la cathédrale de Strasbourg pour le mouvement du soleil et de la lune.

Groupe de Francfort. — Inspection des silos à grains dans les ports français.

Groupe de Hambourg. — Moteur à pression d'eau appliqué à la pompe Mammouth.

Groupe de Carlsruhe. — Compteur d'air pour villes, système Helck.

Groupe de Thuringe. — Emplois domestiques et industriels de l'alcool.

Revue. — Horloge de F. Weale. — Grue des chantiers Krupp-Germania. — Les ateliers de construction de locomotives de Baldwin, à Philadelphie.

N° 50. — *14 décembre 1901.*

Coup d'œil sur la théorie des voûtes, par Th. Landsberg.
Degré d'exactitude des diagrammes d'indicateur, par L. C. Wolff.
Notice nécrologique sur le professeur Rudinger.
Pénétration de l'eau dans les corps solides, par Ph. Forchheimer *(fin)*.
Résistance de l'air sur les volants, par Schotter.

Groupe de la Haute-Silésie. — Les tramways aux États-Unis.

Groupe de la Ruhr. — Choix et épreuves des rails, et particulièrement des rails de tramways.

Bibliographie. — Manuel d'éclairage électrique, par J. Herzog et C. Feldmann. — La question de la pyramide de Cheops, par M. Eyth.

Revue. — Installation pour la vérification des ressorts d'indicateur.— Station centrale de force pour les tramways bruxellois. — Installations électriques à Manchester et à Amsterdam.

N° 51. — *21 décembre 1901.*

Échauffement et refroidissement des espaces clos, par le Dr G. Recknagel.

Exposition universelle de 1900. — Les locomotives par E. Brückmann *(suite)*.

Exposition universelle de 1900. — Les machines de filature, par G. Rohn *(suite)*.

Aperçu sur le calcul des poutres continues formant deux travées, par J. Thieme.

Groupe de Hambourg. — Forage d'un puits dans la brasserie Bavaria, à Altona.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Le service du brisage des glaces sur les cours d'eau en Allemagne.

Groupe de Schleswig-Holstein. — Les accumulateurs.

Bibliographie. — Manuel de l'Ingénieur et du Constructeur de machines, par G. Hermann.

Revue. — Installation de force motrice de Vizzola sur le Tessin. — Chemin de fer funiculaire de l'Uganda.

N° 52. — *28 décembre 1901.*

Exposition universelle de 1900. — La construction des turbines, par E. Reichel *(fin)*.

Recherche sur les régulateurs à inertie pour les machines à vapeur, par C. Körner.

Exposition universelle de 1900. — La technique des courants à haute tension, par R.-M. Friese *(suite).*

Groupe de Siegen. — La production de la fonte dans le pays de Siegen.

Revue. — Rouleaux compresseurs à commande électrique. — L'alcool comme source de puissance. — Emploi du naphte comme combustible dans les fours Martin. — Fondations d'André Carnegie.

Pour la Chronique et les Comptes Rendus :

A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

IIe SECTION

Éléments d'automobiles, par L. Baudry de Saunier. 1 vol. in-8°, de 192 pages, avec 29 figures ; cartonné, 2,50 *f*. — Vve Ch. Dunod, Paris.

Cet ouvrage qui porte en sous-titre : *Ce qu'un homme intelligent doit savoir de la question automobile*, ce sont des notes sommaires sur la question des automobiles, sur leur fonctionnement, leur utilité, les changements qu'elles apportent dans les mœurs, dans les affaires, dans la circulation, dans la vie du pays.

Ce n'est donc pas du tout un ouvrage technique et nous ne le présenterions pas à nos Collègues si la question de l'automobile n'était pas si populaire ; nous nous permettons donc d'en recommander la lecture aux Ingénieurs qui, sans être spécialistes, veulent devenir pratiquants, car ils trouveraient dans le nouveau livre de M. Baudry de Saunier des aperçus nouveaux de la question qui ne sont pas sans utilité.

Lucien Périssé.

Ve SECTION

Production et distribution de l'énergie pour la traction électrique, par M. Henry Martin, (1).

Vouloir embrasser en un seul ouvrage toutes les questions relatives à la Traction électrique sur les voies ferrées est une œuvre devenue impossible.

Bien que d'origine récente, la traction électrique, par ses rapides progrès, a pris un grand développement, et les ingénieurs ont dû et ont su trouver de nombreuses solutions répondant à des besoins très divers. Aussi, MM. André Blondel et F. Paul-Dubois n'ont-ils pas pu comprendre la production et la distribution de l'énergie électrique dans leur remarquable traité en deux forts volumes : *la Traction électrique*, publié en 1898 par M. Ch. Béranger.

M. Henry Martin s'est proposé de compléter la lacune importante laissée intentionnellement par MM. Blondel et Dubois, dans leur ouvrage devenu aujourd'hui classique. En traitant les questions de distribution, M. Martin s'est trouvé naturellement amené à compléter et à mettre à jour, en profitant des publications étrangères les plus récentes et de notre dernière Exposition Universelle, l'œuvre de ses devanciers, notamment en ce qui touche les organes de prise de courant.

(1) In-8°, 250 × 165 de 750 pages avec 867 figures. Paris, Ch. Béranger. Prix relié, 25 *f*.

L'ouvrage de M. Martin est divisé en six parties. La première partie a trait à la production du courant. Après avoir indiqué comment, en partant des résultats d'expérience qu'il relate, on peut déterminer quels doivent être la puissance d'une station centrale et le nombre de ses unités motrices, M. Martin nous fait connaitre les types de chaudières, de machines à vapeur, de gazogènes, de moteurs à gaz pauvre et de turbines adoptés dans les installations les plus récentes. Des exemples bien choisis montrent les dispositions prises pour rendre facile et économique l'exploitation des stations centrales, notamment pour le transport du combustible et la manutention des lourdes pièces des machines.

Un chapitre est consacré au montage, à l'entretien et à la mise en marche des générateurs à courants continus et polyphasés, puis à l'organisation des tableaux de distribution. Le chapitre suivant est consacré à l'emploi des accumulateurs. Les sous-stations de transformation, les précautions à prendre contre les accidents provenant des courants, les dépenses d'établissement sont développées dans trois chapitres.

L'alimentation des lignes de prises de courant fait l'objet de la seconde partie. Après avoir indiqué les méthodes à suivre pour la détermination de la section des feeders, M. Martin en indique la construction.

La troisième partie est consacrée à la prise du courant par lignes aériennes. Un court historique, qui n'est pas sans intérêt, car il montre qu'à leur origine les nouvelles dispositions sont généralement compliquées, est suivi des règles à appliquer pour le tracé des lignes aériennes, de la description des poteaux et consoles des types les plus récents, puis des divers systèmes de suspension du fil, des aiguillages et des croisements et cela pour les deux systèmes de prise de courant par trolley et par archet.

L'outillage à employer et les méthodes à suivre pour le montage des lignes aériennes font l'objet d'un chapitre.

Le suivant contient la description de divers parafoudres parmi lesquels nous trouvons le dispositif à cornes divergentes, pour courants alternatifs à haute tension. Les nombreuses dispositions de prises de courant par trolley et par archet sont décrites et figurées, y compris les appareils pour automobiles sur route.

Quelques indications sur les dépenses d'établissement des lignes aériennes terminent cette partie.

Dans la quatrième partie, l'auteur s'occupe de la prise de courant au niveau et au-dessous du sol, c'est-à-dire par troisième rail continu ou sectionné, par caniveaux et par contacts superficiels. Cette partie est l'une des plus importantes et des plus intéressantes du livre que nous analysons.

Après avoir décrit les caniveaux primitifs (petits caniveaux établis à Blackpool entre les rails, en 1884; caniveau latéral construit en 1887 à Budapest par Siemens et Halske), l'auteur passe en revue les principaux systèmes, notamment les plus récents de Siemens et Halske et de Thomson-Houston parmi lesquels nous trouvons le système mixte, appliqué à Paris par la Société Thomson-Houston, dans lequel le cani-

veau est latéral en pleine voie, ce qui supprime une saillie sur la chaussée, et redevient axial aux croisements, ce qui facilite l'établissement de bons aiguillages. Après un historique sur les systèmes à contacts superficiels, M. Martin fait connaitre les dispositions Claret-Vuilleumier, Vedovelli, Schuckert, Diatto, Dolter, Potter, Westinghouse, Stobrawa, Kingsland et Hillairet-Huguet.

La cinquième partie est consacrée aux dispositifs ayant pour but d'assurer le retour du courant; les divers types de connexions y sont décrits, ainsi que les joints soudés ou coulés, parmi lesquels le joint Falk qui a fait l'objet de plusieurs applications en France.

Le lecteur trouvera dans la sixième et dernière partie, les diverses réglementations françaises relatives aux canalisations électriques, aux chaudières et moteurs à vapeur et aux usines hydrauliques.

Ce compte rendu montre que l'ouvrage de M. Martin sera fort utile non seulement aux ingénieurs s'occupant de la traction électrique, mais à tous ceux qu'intéresse le transport de l'énergie électrique.

Le livre est d'ailleurs composé et imprimé avec le soin que M. Ch. Béranger apporte à toutes ses publications.

L. Salomon.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LA CHRONIQUE DU 2e SEMESTRE, ANNÉE 1901

TABLE DES MATIÈRES

TRAITÉES DANS LE DEUXIÈME SEMESTRE, ANNÉE 1901

(Bulletins)

ADMISSION DE NOUVEAUX MEMBRES

AVIATION

BIBLIOGRAPHIE

CHEMINS DE FER

CHIMIE INDUSTRIELLE

CHRONIQUE

COMPTES RENDUS

CONCOURS

CONGRÈS

DÉCÈS

DÉCORATIONS FRANÇAISES

Officiers de la Légion d'honneur : MM. A. Pillé, Ch. Cotard.

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. M. Douau, H. Forest, H. Laval, G. Mestayer, E. Pantz, E. Verdeaux.

Officiers de l'Instruction publique : MM. J.-M. Lopès-Dias, C. Georgin, A. Dutreux.

Officiers d'Académie : MM. P.-L. Barbier, F. Brunswick, P.-L. Novince.

Commandeurs du Mérite agricole : MM. Ch. Gallois, A. Lambert.

Officiers du Mérite agricole : MM. A. Béthouart, F. Dehaître.

Chevaliers du Mérite agricole : MM. Ch. Dessin, P.-A. Jolibois, E.-F. Chardon.

DÉCORATIONS ÉTRANGÈRES

DIVERS

DONS

ÉCLAIRAGE

ÉLECTRICITÉ

EXPOSITION

MÉCANIQUE

MÉTALLURGIE

MINES

MOTEURS

NAVIGATION

NOMINATIONS

OUVRAGES, MÉMOIRES ET MANUSCRITS REÇUS

PLANCHES

PRIX ET RÉCOMPENSES

TECHNOLOGIE

TRAVAUX PUBLICS

TABLE ALPHABÉTIQUE

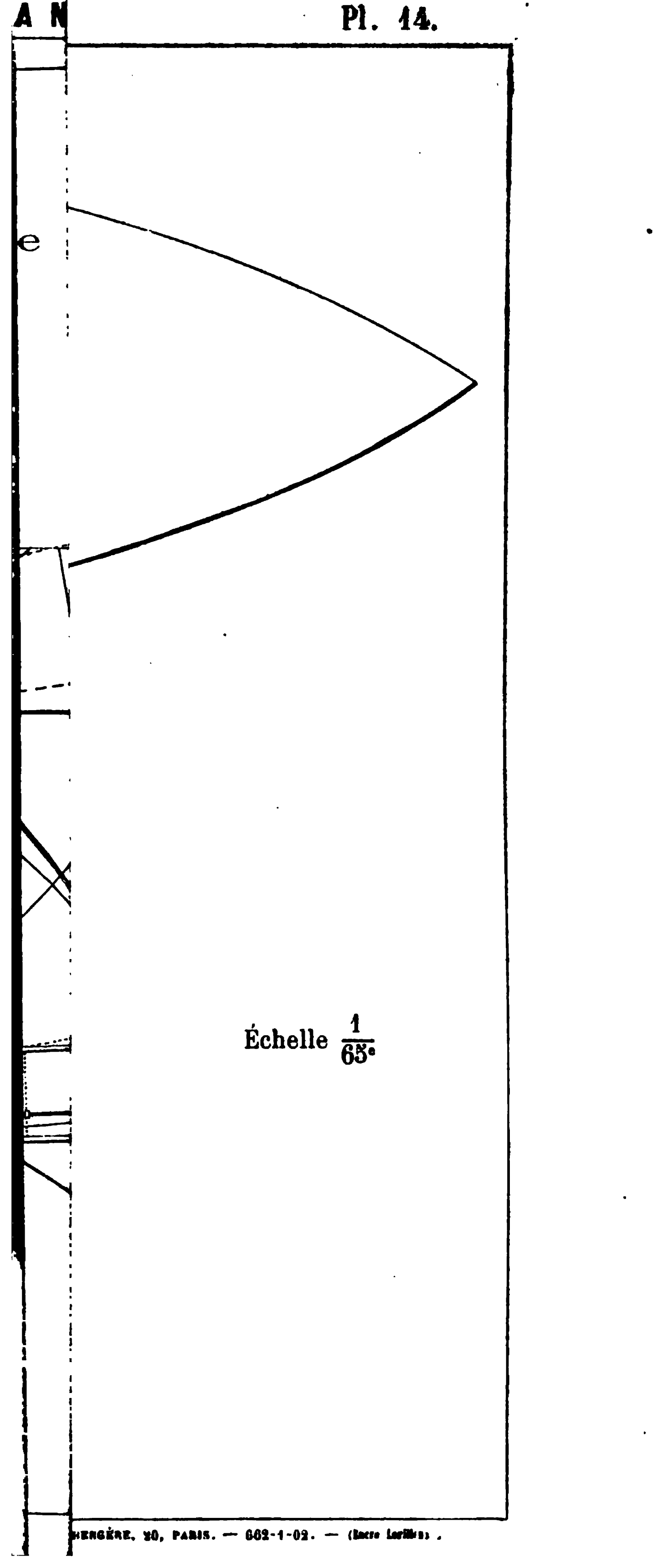
PAR

NOMS D'AUTEURS

DES MÉMOIRES INSÉRÉS DANS LE 2e SEMESTRE, ANNÉE 1901.

Le Gérant, Secrétaire Administratif,
A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 23578-12-01. — (Encre Lorilleux).



BERGÈRE, 20, PARIS. — 662-1-02. — (Encre Lorilleux).

